

Workshop

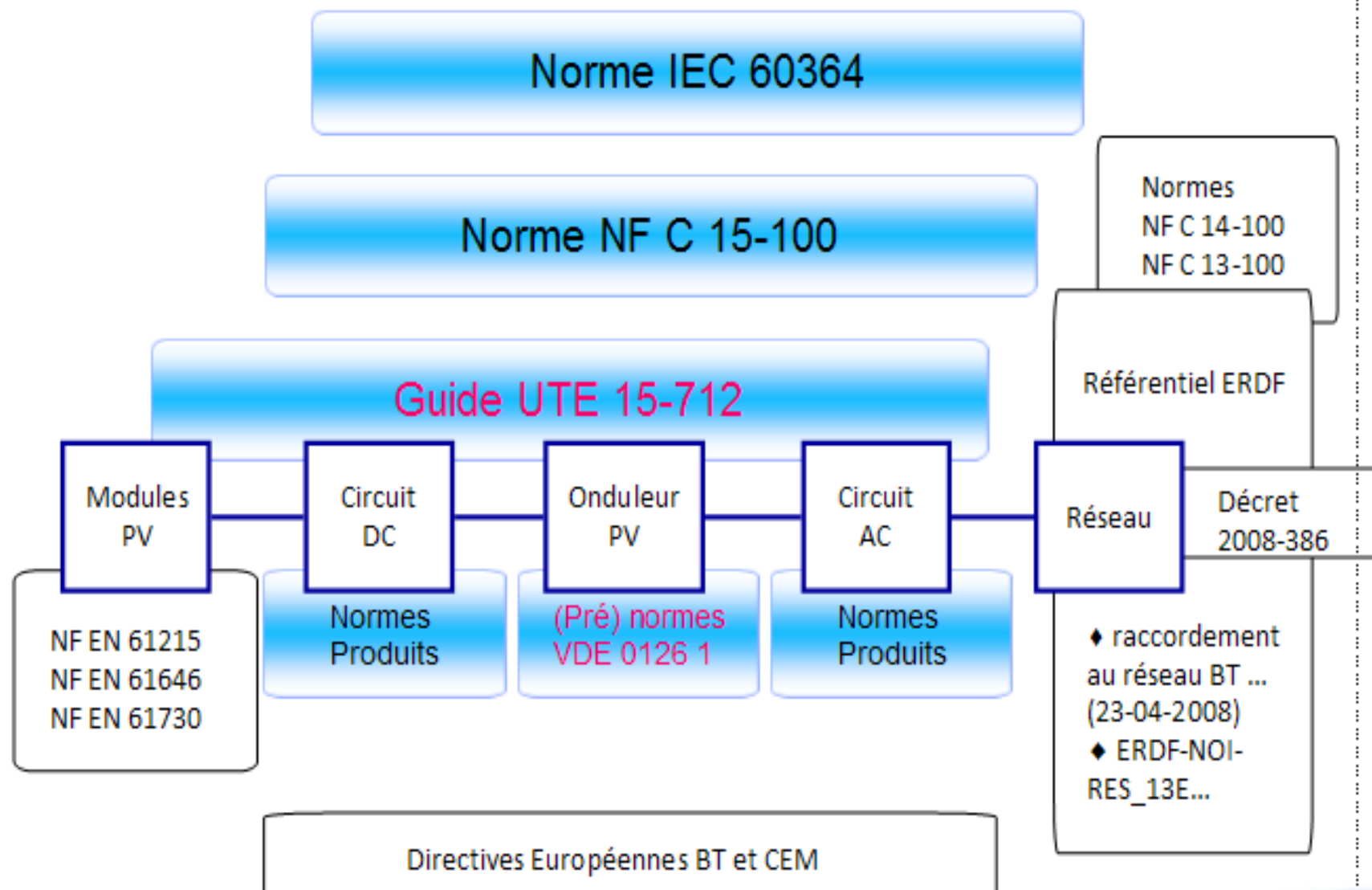
La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au Réseau



Mars 2016

► Les installations photovoltaïques

- Le générateur PV
- L'onduleur



Normes: documents de référence



► Architectures des installations PV raccordées réseau

Installations type



Domestique
ou
Industrielle



Domestique



Industrielle



Composition

- ▶ 1- Champ PV
- ▶ 2- Boitier DC
- ▶ 3- Onduleur
- ▶ 4- Boitier AC
- ▶ 5- Compteur PV
- ▶ 6- Compteur Sous-tirage
- ▶ 7- Réseau

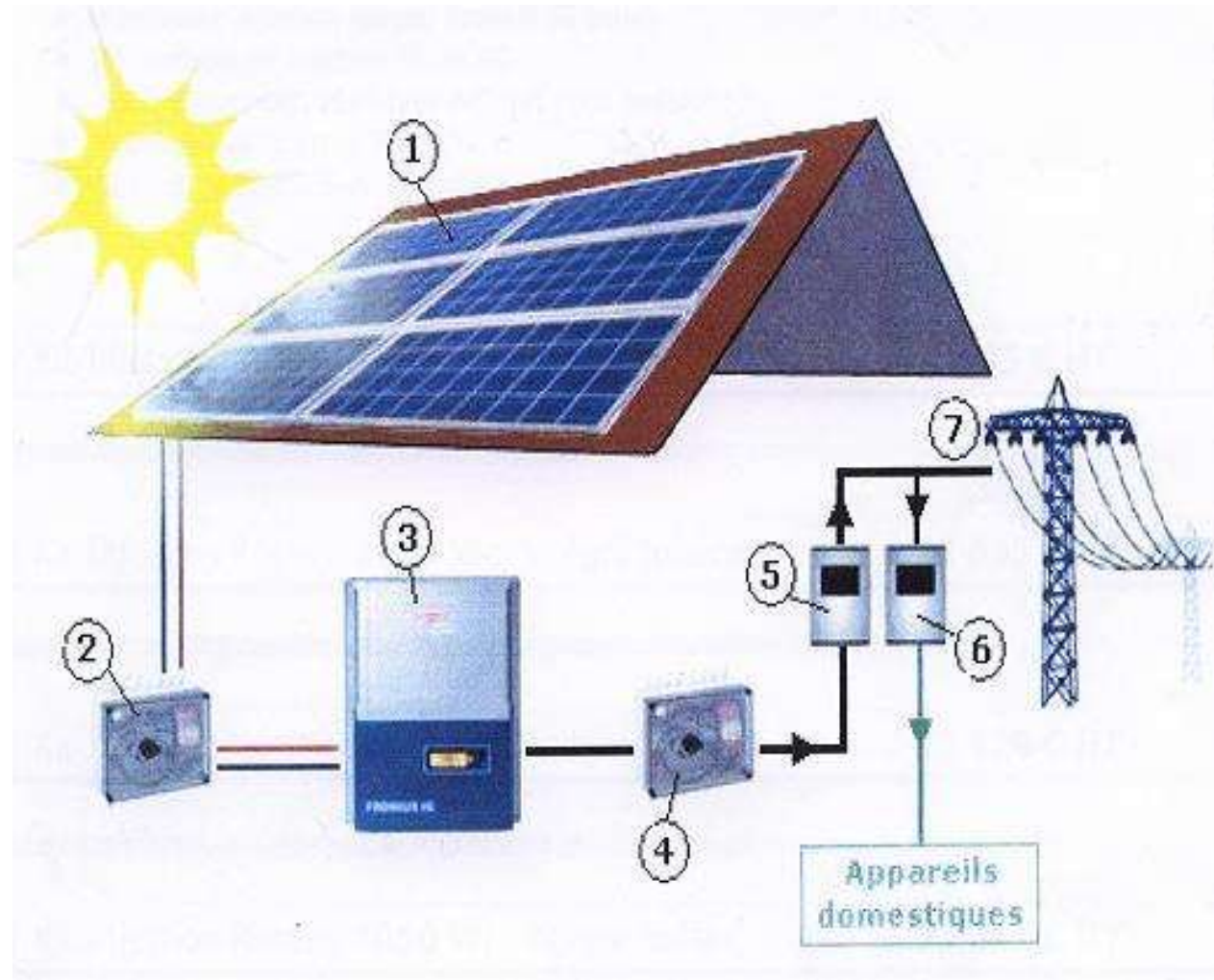
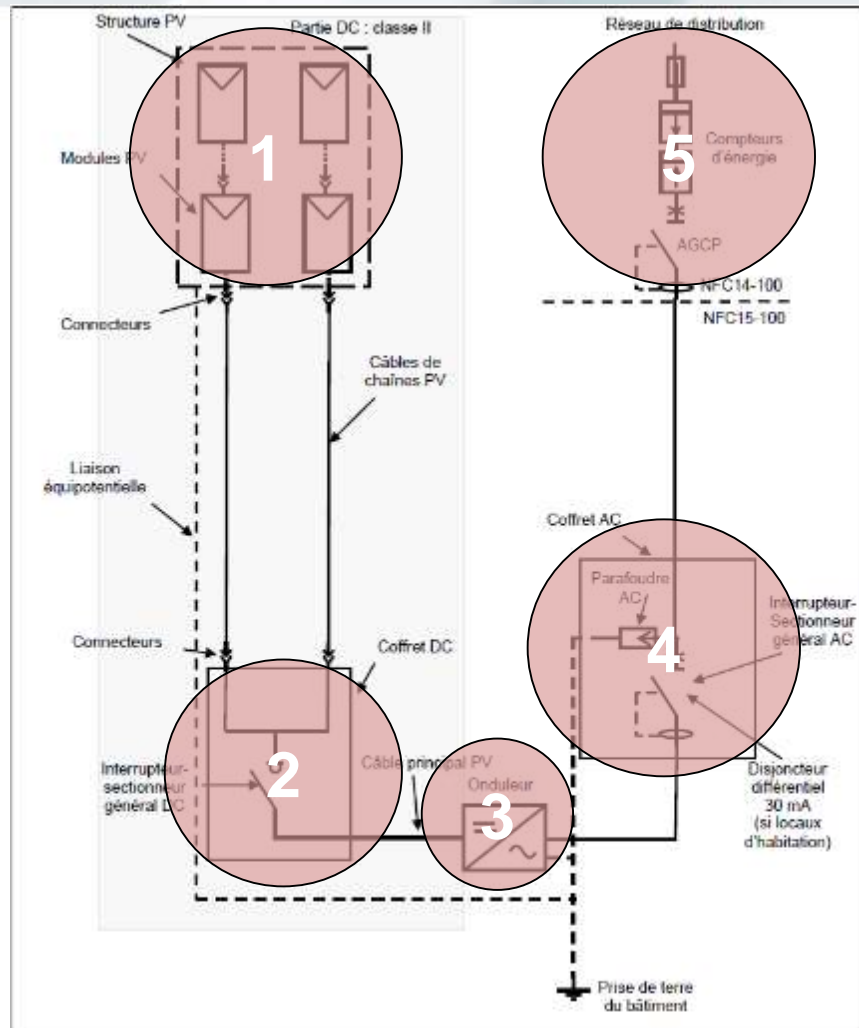
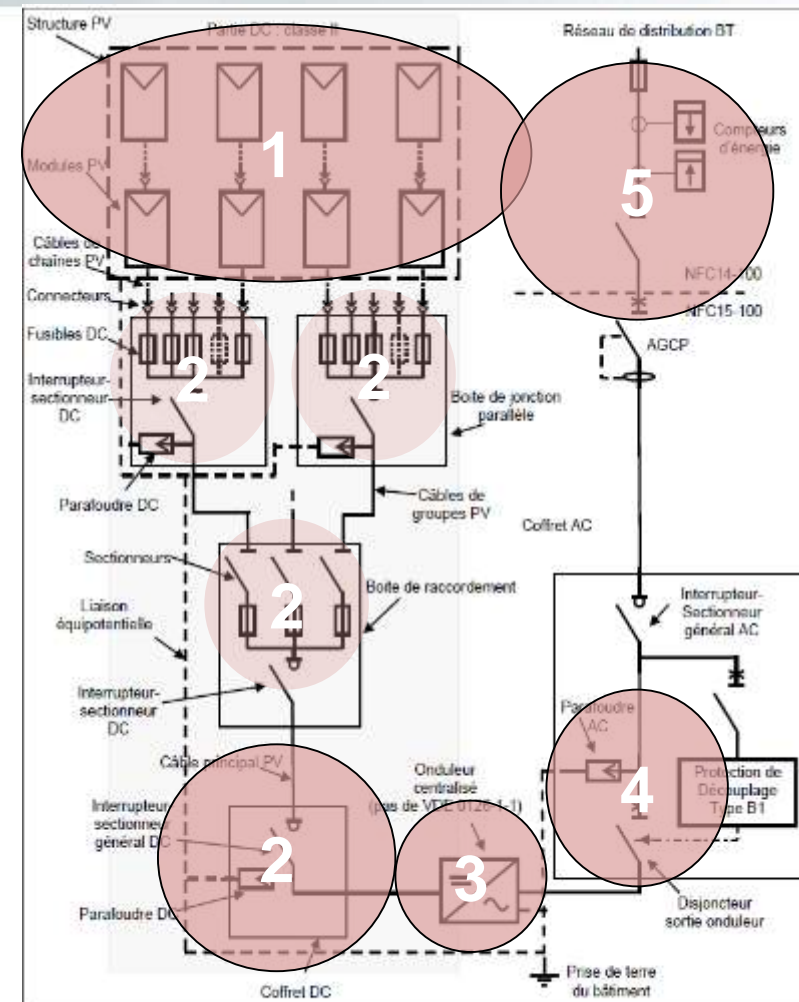


Schéma équivalent et repérage des composants



Exemple de schéma synoptique d'une installation PV raccordée au réseau BT (onduleur monophasé de quelques kVA conforme à la pré-norme VDE 0126-1-1)



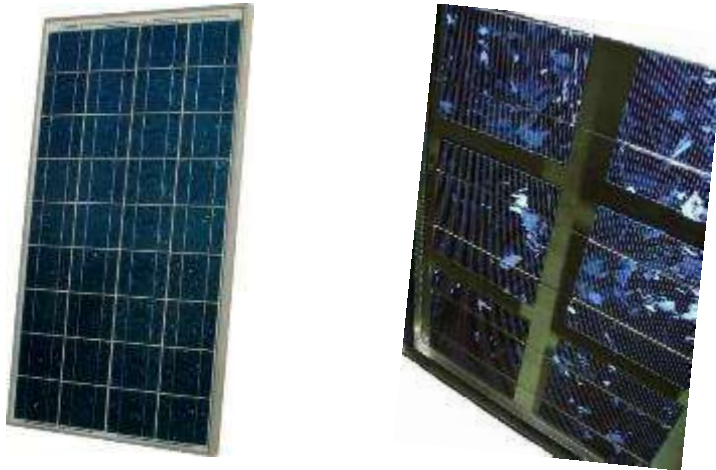
Exemple de schéma synoptique d'une installation PV raccordée au réseau BT (Onduleur centralisé triphasé > 36 kVA conforme à la pré-norme VDE 0126-1-1)

► Le générateur PV

Du silicium au module photovoltaïque



Système cristallins



MODULE RIGIDE

12 à 20% ⁶

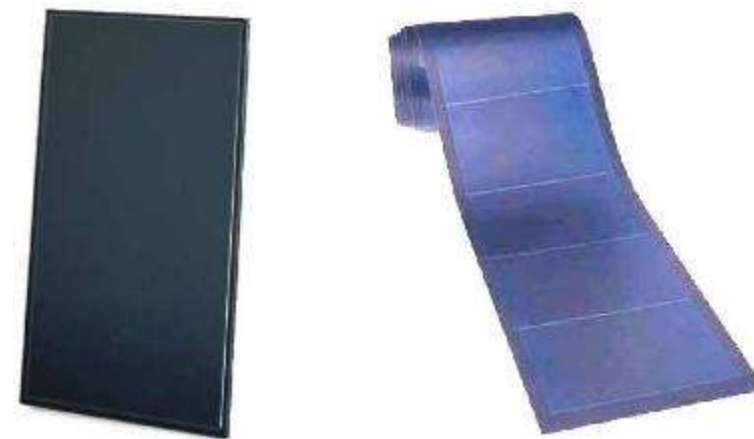
PARTICULIÈREMENT SENSIBLE

PLUTÔT MOYENNE

PERTE DE $\pm 0,5\%$ / 1°

CEI 61215

Systèmes couches minces



MEMBRANE SOUPLE ou MODULE RIGIDE

$\pm 5\%$ à 14%

PEU SENSIBLE

PLUTÔT TRÈS BONNE

PERTE DE $\pm 0,2\%$ / 1°

CEI 61646

TYPE

RENDEMENT

OMBRAGES

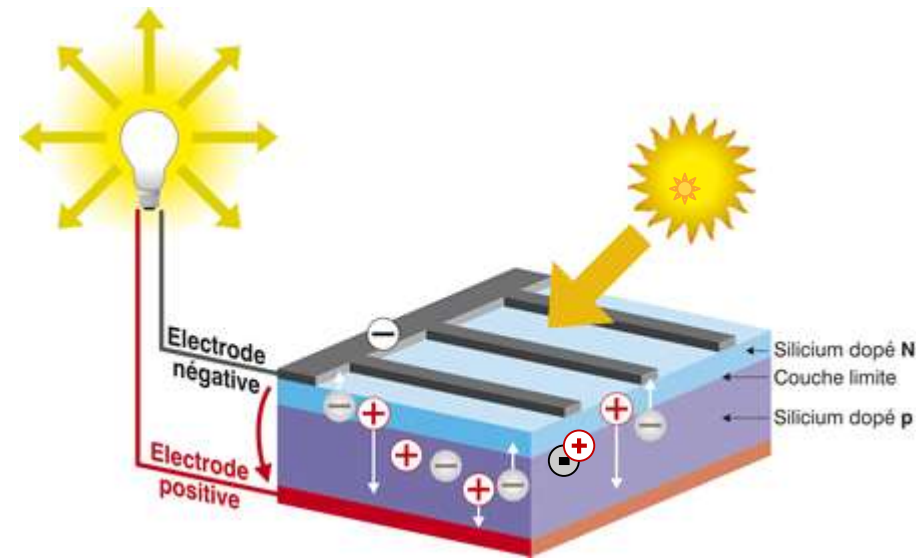
RÉPONSE AU DIFFUS

COEF. DE T°

CONFORMITÉ

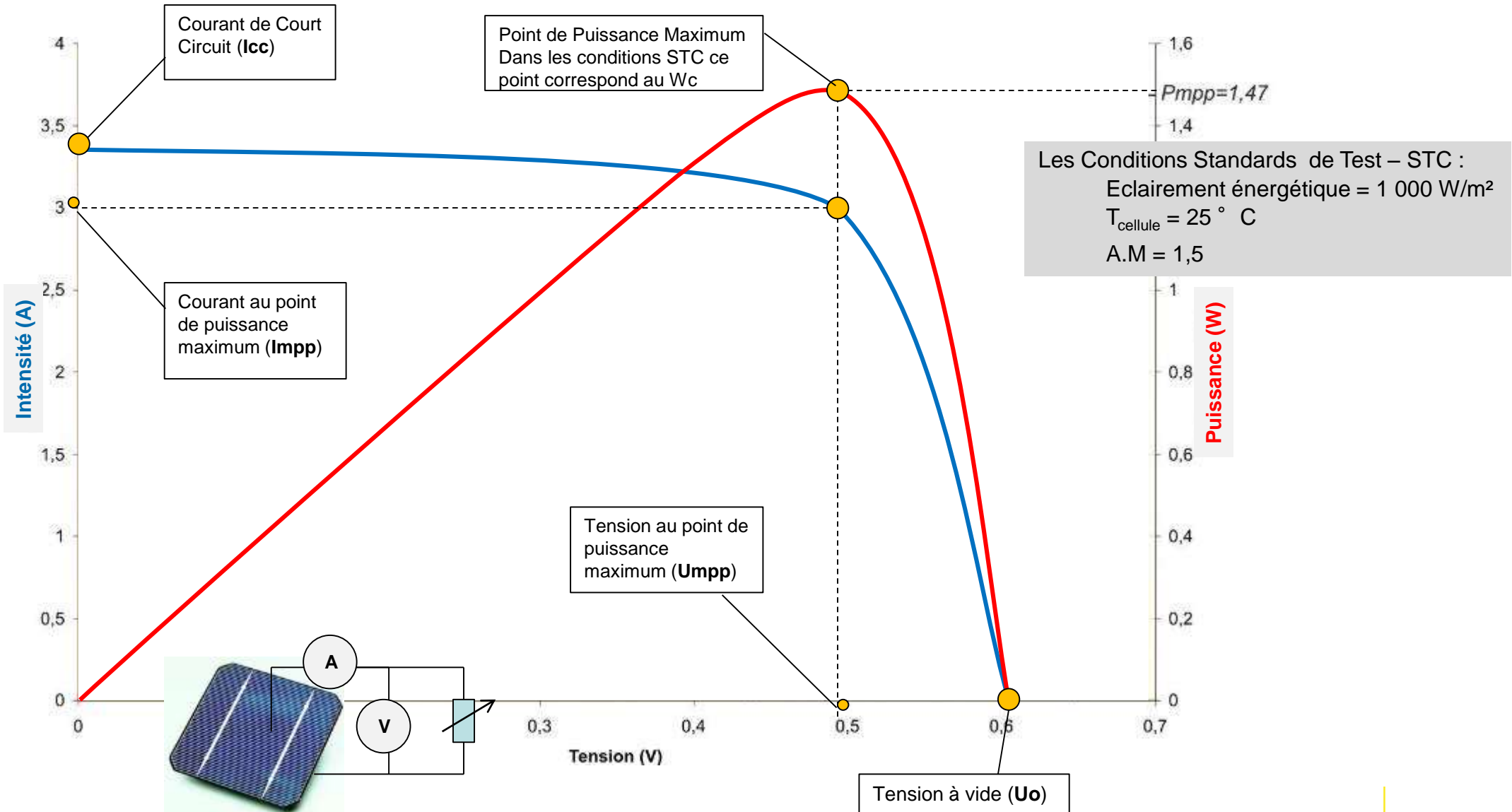
Quand un photon heurte la cellule, il transmet son énergie aux électrons des semi-conducteurs. Si l'énergie est suffisante pour arracher un électron et permettre son passage de la bande interdite ces électrons quittent leur bande de valence et entrent dans la bande dite de conduction. Cette émission paires électron-trou due à l'action de la lumière est appelée **effet photoélectrique**. Les propriétés physiques du matériau sont alors modifiées et celui-ci devient conducteur.

Si l'énergie du photon n'est pas suffisante, ou trop importante elle ne sera pas absorbée ou transformée sous forme de chaleur .



© J. Flémal - Architecture et Climat - UCL

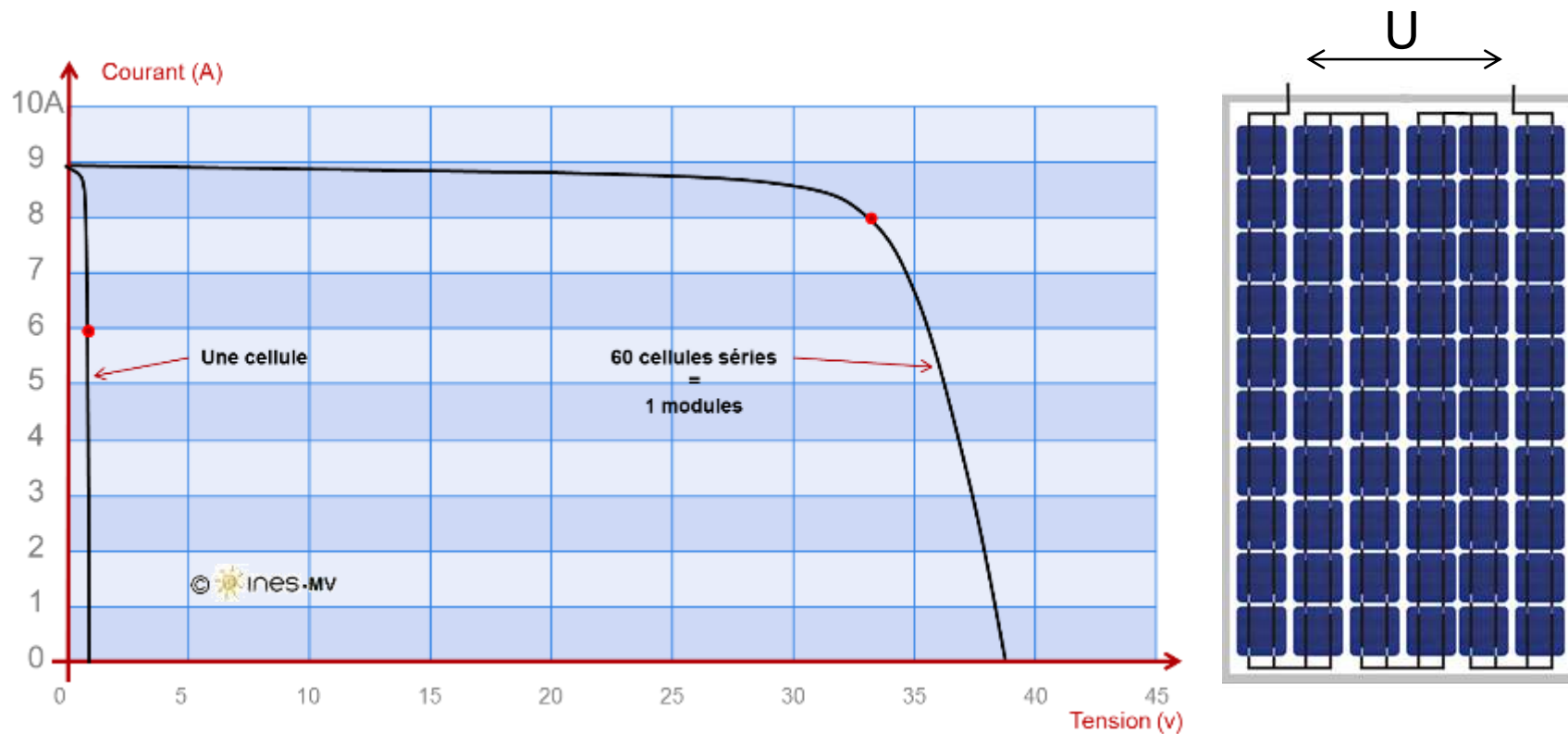
Caractéristiques tension courant et tension puissance d'une cellule



La constitution d'un module photovoltaïque

► Montage en série des cellules photovoltaïques

- La mise en série des cellules permet d'augmenter la tension tout en conservant le courant d'une cellule (nécessité d'appariage des cellules)
- Les modules standards actuels sont composés de 60 cellules de 6 '' et une puissance avoisinant 250Wc.



Caractéristiques électriques sous les conditions STC (AM 1,5, 1 000 W/m², 25°C):

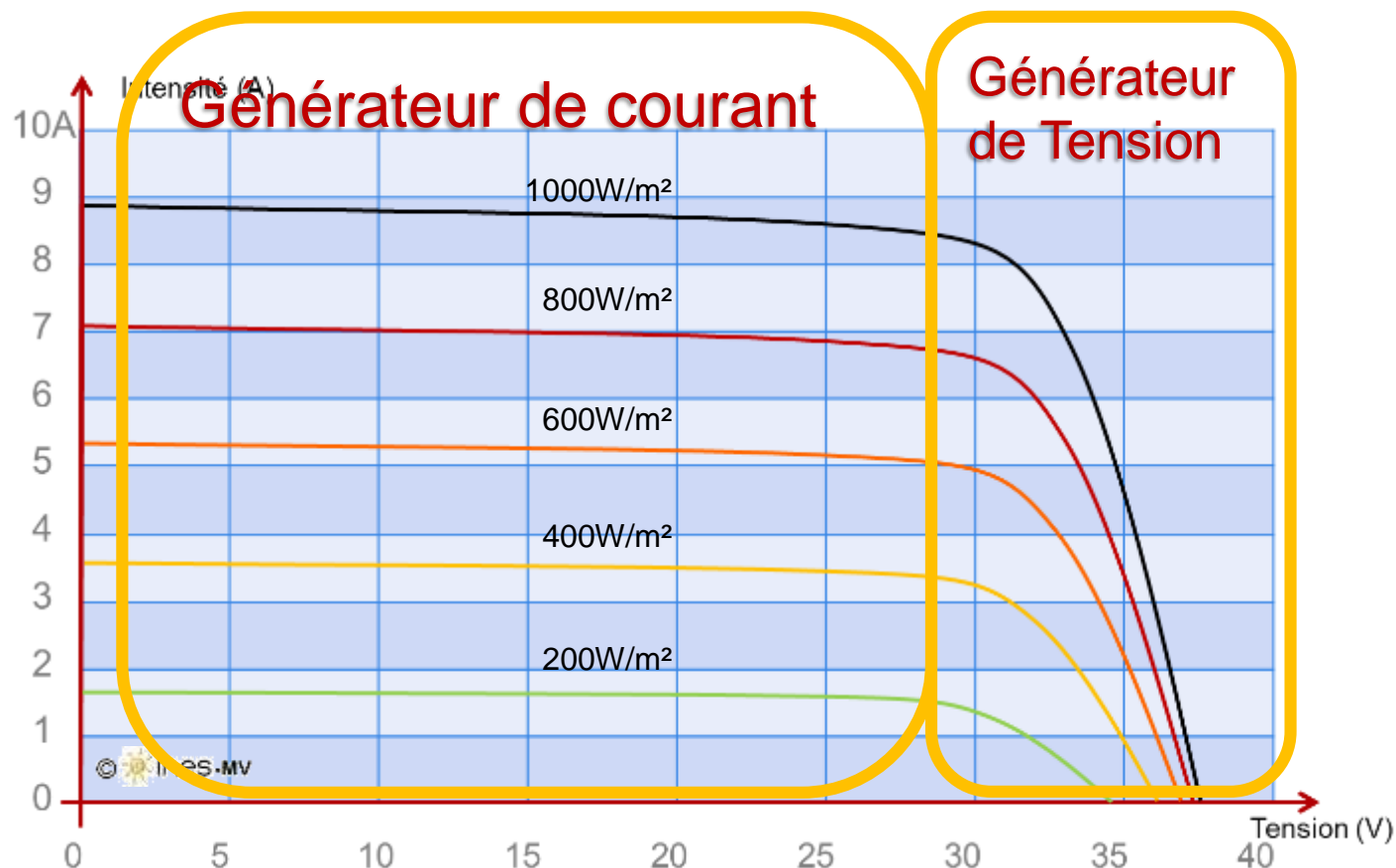
Référence module		BSO-245	BSO-250	BSO-255	BSO-260	BSO-265
Puissance nominale	P_{MPP} [W]	245	250	255	260	265
Courant de court-circuit	I_{CC} [A]	8,70	8,80	8,90	9,00	9,10
Tension en circuit ouvert	U_{CO} [V]	37,8	37,9	38,1	38,3	38,5
Courant au point de puissance maximale	I_{MPP} [A]	8,10	8,20	8,30	8,40	8,50
Tension au point de puissance maximale	U_{MPP} [V]	30,2	30,5	30,7	31,0	31,2
Rendement cellule	η_C [%]	16,8	17,1	17,5	17,8	18,1
Rendement module	η_M [%]	15,0	15,3	15,6	15,9	16,2
Tolérance de puissance en sortie		0/+5 W				
Courant inverse maximum		13 A				
Voltage maximum du réseau		1 000 V (Classe d'application A)				



≠ 2Isc



Caractéristiques d'un module photovoltaïque au silicium cristallin selon l'ensoleillement



En charge: Un générateur photovoltaïque est un générateur de courant presque parfait :

- Courant de court circuit à peine 10% supérieur au courant de fonctionnement
- Courant variable selon l'ensoleillement



A vide: La tension d'un générateur photovoltaïque varie peu
Même à faible ensoleillement la tension est élevée



Le risque électrique est permanent (la journée)
La détection et l'arrêt du générateur est difficile



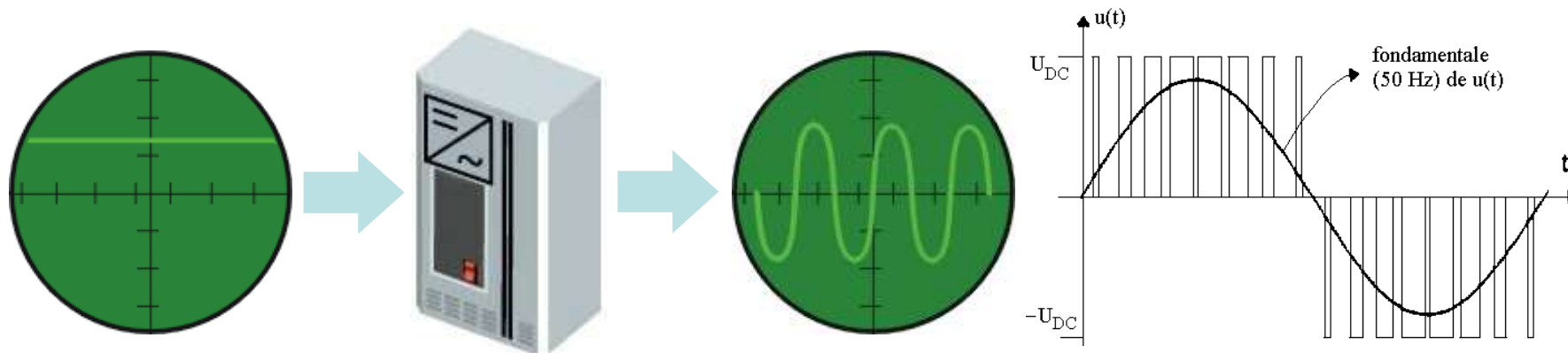
Comment savoir quand l'installation est en défaut ?
Comment stopper notre générateur ?
Comment intervenir en sécurité ?

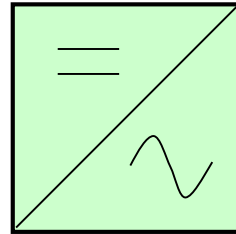
L'onduleur

L'onduleur pour le raccordé réseau

► Fonctions :

- Convertit le courant continu en courant alternatif
- Se synchronise avec le réseau pour être « en phase »
- Recherche le Point de Puissance Maximum (MPPT) du champ PV
- Se déconnecte en cas d'absence de tension du réseau (VDE 0126-1)
- Contrôle l'isolement du circuit continu (CPI) pour la protection des personnes





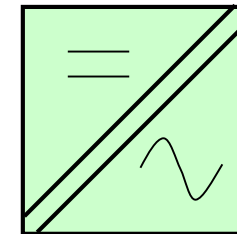
Onduleur sans séparation galvanique

Avantages:

Petit, performant, léger

Inconvénients:

Courant de fonctionnel à la terre qui peut déclencher la protection différentielle. Courant qui augmente avec la puissance.



Onduleur avec séparation galvanique

Avantages:

Fiable, robuste, isolation galvanique entre AC et DC

Inconvénients:

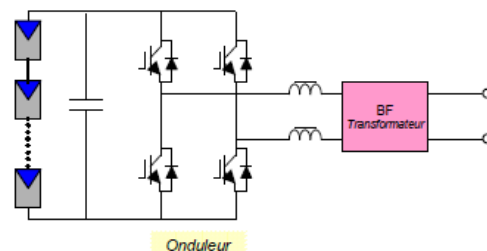
Perte supplémentaire causée par le transfo

Deux familles...nombreuses !

Onduleur avec transfo

I.1. Onduleurs en pont avec transformateur BF (TBF1)

Schéma de principe



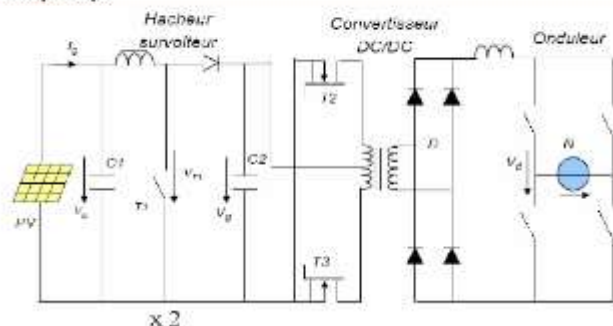
II.1 Onduleur en pont avec convertisseur DC/DC Flyback et transformateur HF (THF1)

II.2 Onduleur en pont avec convertisseur DC/DC Forward et transformateur HF (THF2)

II.3 Onduleurs en double pont avec transformateur HF (THF3)

II.4 Onduleurs en pont avec convertisseur DC/DC Boost et transformateur HF (THF4)

Schéma de principe



Onduleur sans transfo

III.1 Onduleurs en pont sans convertisseur DC/DC (ST1)

III.2 Onduleurs en pont avec convertisseur Boost (ST2)

III.3 Onduleurs en pont H5 (ST3)

III.4 Onduleurs en demi pont avec convertisseur Boost (ST4)

III.5 Onduleurs en pont avec circuit de type HERIC (ST5)

III.6 Onduleurs en demi pont avec circuit de « roue libre » (ST6)

III.7 Onduleurs en demi pont avec convertisseur Boost et circuit de type HERIC (ST7)

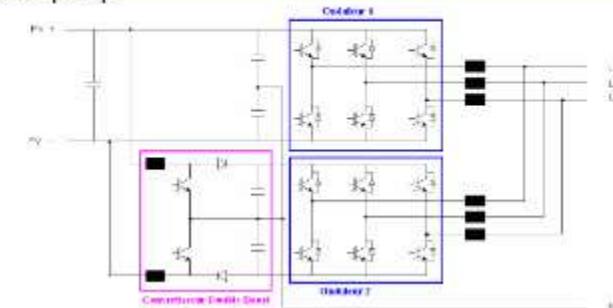
III.8 Onduleurs à demi pont avec convertisseur double Boost (ST8)

III.9 Onduleurs de type Karshny (ST9)

III.10 Onduleurs en pont triphasé avec convertisseur Boost (ST10)

III.11 Onduleurs en double pont triphasé avec convertisseur double Boost (ST11)

Schéma de principe



Les onduleurs pour le raccordé réseau

- Conformité aux normes :
 - Protection de découplage :
DIN VDE 0126-1-1
 - Interface réseau : CEI 61727
 - Compatibilité électromagnétique : EN55014
 - Harmoniques : CEI 61000-3-2
 - Sécurité : EN 60950
 - CEI 62109
 - Certificats de tests délivrés par laboratoire agréé



Certificat de Conformité

Demandeur: Schneider Electric Solar Inverters USA, Inc.
250 South Vasco Road
Livermore, California 94551
USA

Produit: Photovoltaïque convertisseur

Modèle: Conext TL8000E, Conext TL10000E

À utiliser conformément aux réglementations:
Dispositif de coupure automatique avec une surveillance du réseau triphasé, conformément à UTE C15-712-1, Juillet 2010 pour des systèmes photovoltaïques avec un couplage parallèle triphasé, via un convertisseur dans l'alimentation électrique publique. Le dispositif de coupure automatique fait partie intégrante de ce convertisseur. Il remplace l'appareil de déconnexion avec une fonction isolante, auquel le fournisseur du réseau de distribution peut accéder à tout moment.

Réglementations et normes appliquées:
UTE C15-712-1, Juillet 2010
et
DIN V VDE V 0126-1-1 (VDE V 0126-1-1):2006-02
Dispositif de déconnexion automatique entre un générateur et le réseau public à basse tension

Un échantillon représentatif des produits mentionnés ci-dessous correspond avec exigences de sécurité technique en vigueur à la date d'émission de ce certificat pour l'usage spécifié et conformément avec réglementation.

Numéro de rapport: 12KF5074-01

Numéro de certificat: 13-069-00

Délivré le: 2013-04-11 **Valide jusqu'au:** 2016-04-11


Horst Haug



Primara Test- und Zertifizier-GmbH | Gewerbestraße 28 | 87630 Kaufering | Germany | T +49 (0) 8341 956 48 99 | F +49 (0) 8341 956 48 94

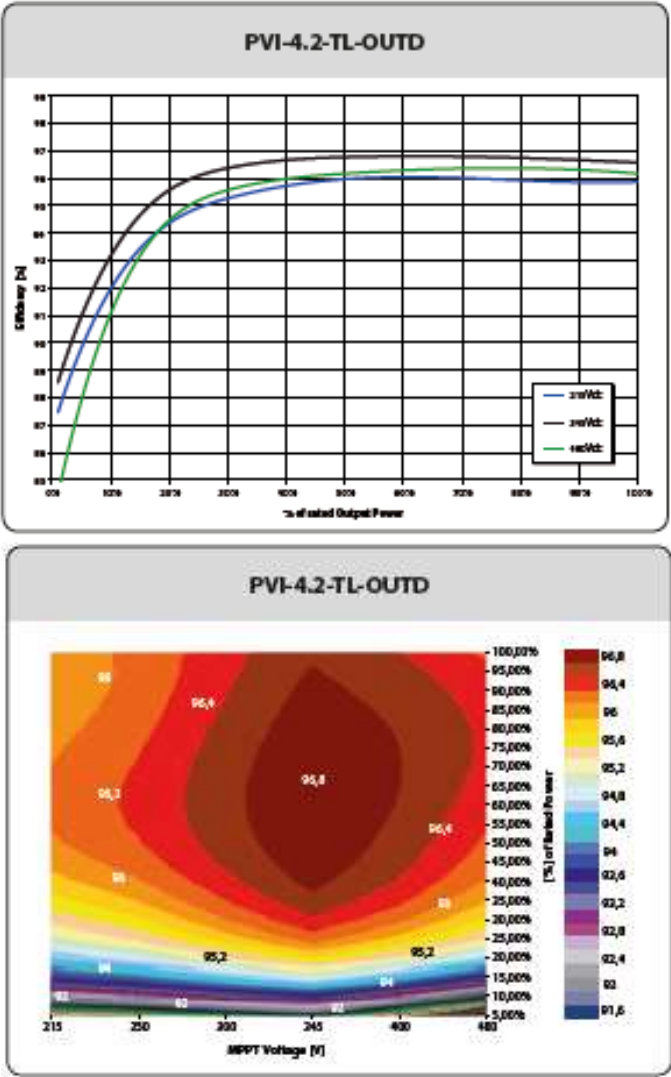
Exemple d'onduleurs

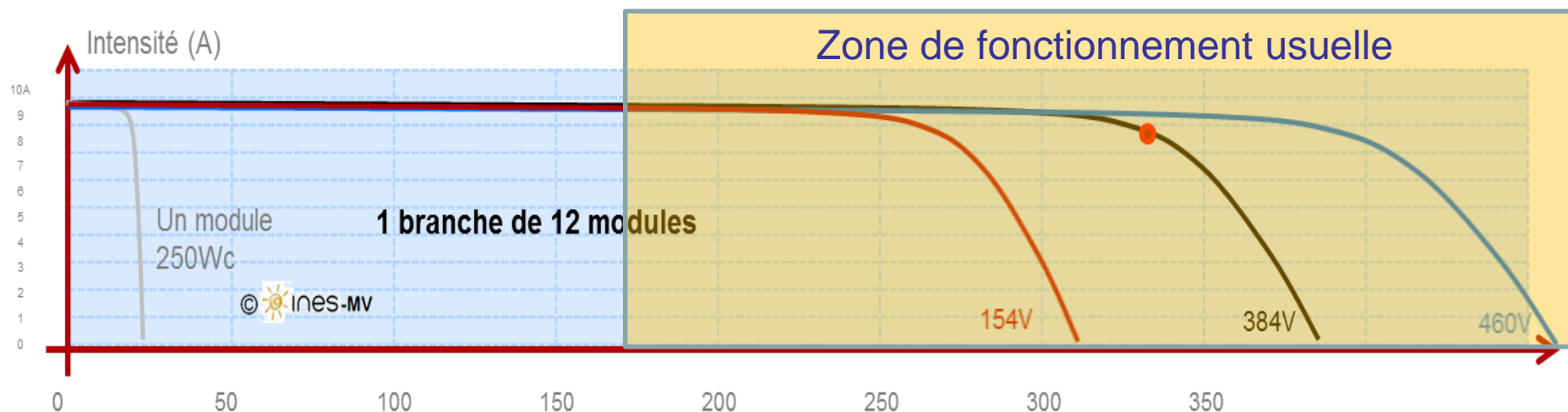
► Caractéristiques Power one Aurora 3kW TL outd



EN62109-1, EN62109-2,
AS/NZS3100, AS/NZS 60950,
EN61000-6-1, EN61000-6-3,
EN61000-3-11, EN61000-3-12
CEI 0-21, VDE 0126-1-1,
VDE-AR-N 4105, G59/2,
EN 50438 (pas pour toutes les
annexes nationales), RD1699,
AS 4777, C10/11, IEC 61727,
ABNT NBR 16149

Paramètre PVI-4-2	DC
Pdc nominale	3120 W
Umax	600 V
Umpp	140 à 530V
Unom	350V
Nb MPPT/ Pmax par MPPT	2 / 2000 W
Imax par MPPT	16
	AC
P nom	3000 W
P max	3300 W
Uac	230 V (180-264)
Imax	14,5 A
Fréquence	50 et 60 Hz (47 à 53)
Facteur puissance nominale / réglable	0,995 / +-0,9 réglable
Rendement Max/euro	96,8% /96,0%
	Autres
Temp de fonctionnement	-25 à +60° C réduction de puissance à 50°
Indice de protection	IP65
Poids	17,5kg
Isolation galvanique AC DC	Non

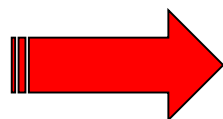




Il existe des milliers de modules différents

Il existe presque autant d'onduleurs

L'association et la configuration est propre à chaque installation



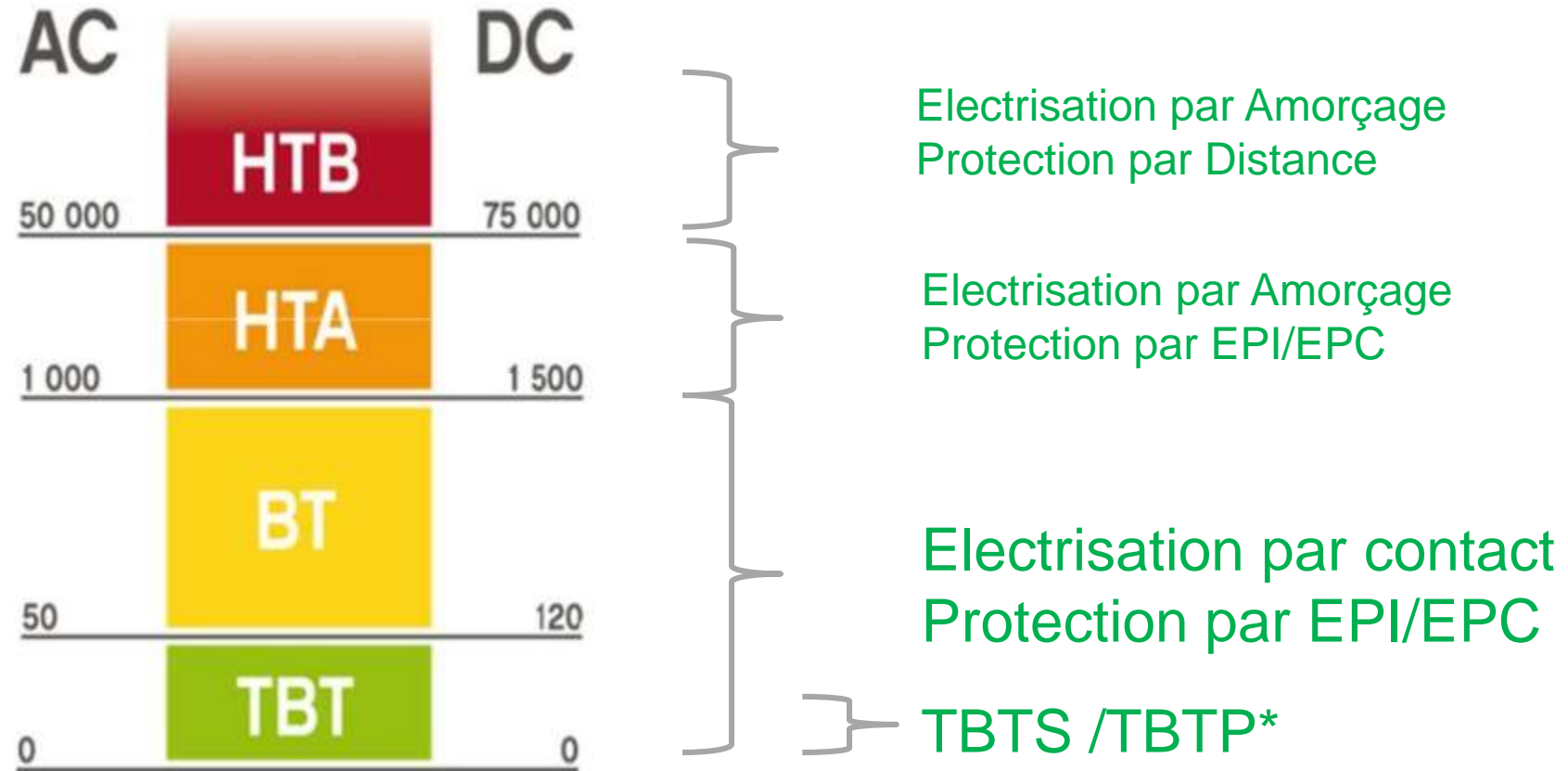
Comment se prémunir des risques inhérents aux installations photovoltaïques?

► Protection des Personnes

Travail sous tension

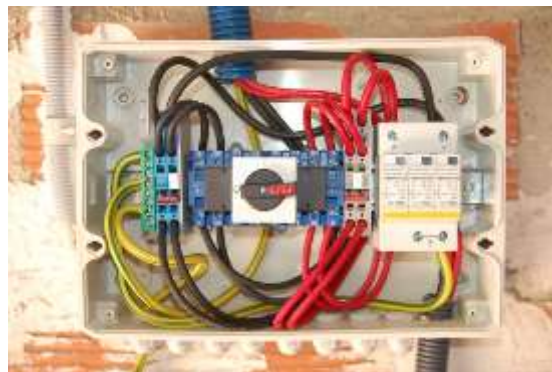
Travail au voisinage de tension
















Les domaines de tension



- * TBTS: Très Basse Tension de Sécurité
Polarité non liée à la terre → travail sans protection possible jusqu'à 60V → Travail sous tension sur un module autorisé !
- * TBTP: Très Basse Tension de Protection
Polarité liée à la terre → travail sans protection possible jusqu'à 30V

- ▶ L'ensemble du matériel ou de l'installation doit être à double isolation ou isolation renforcée.
- ▶ Aucune partie ou composant ne doit être accessible à main nu. Par conséquent le matériel doit disposer d'un Indice de Protection (IP) contre les corps solides supérieur ou égal à 2 (IP2x)
 - ▶ Premier chiffre: 2 → corps solide de \varnothing 12,5mm
 - ▶ Deuxième chiffre: X → corps liquide non défini



1 ^{er} chiffre protection contre les corps solides	2 ^e chiffre protection contre les corps liquides
1  protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm	1  protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)
2  protégé contre les corps solides supérieurs à 12,5 mm	2  protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale
3  protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm	3  protégé contre l'eau de pluie jusqu'à 60° de la verticale
4  protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm	4  protégé contre les projection d'eau de toutes directions
5  protégé contre les poussières (pas de dépôt notable)	5  protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance
6  totalement protégé contre les poussières	6  protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer
Exemple  IP 30.D protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm pas de protection protégé contre l'accès d'un outil à 1 mm	7  protégé contre les effets de l'immersion temporaire
	8  protégé contre les effets de l'immersion permanente

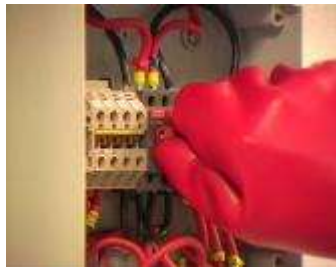
L'installateur, doit vérifier la conformité de son matériel et de sa mise en œuvre.
L'exploitant doit veiller aux dégradations des enveloppes intérieures et extérieures.
L'intervenant doit contrôler l'isolation avant toute intervention

La sécurité: Qui, Quoi, Comment !

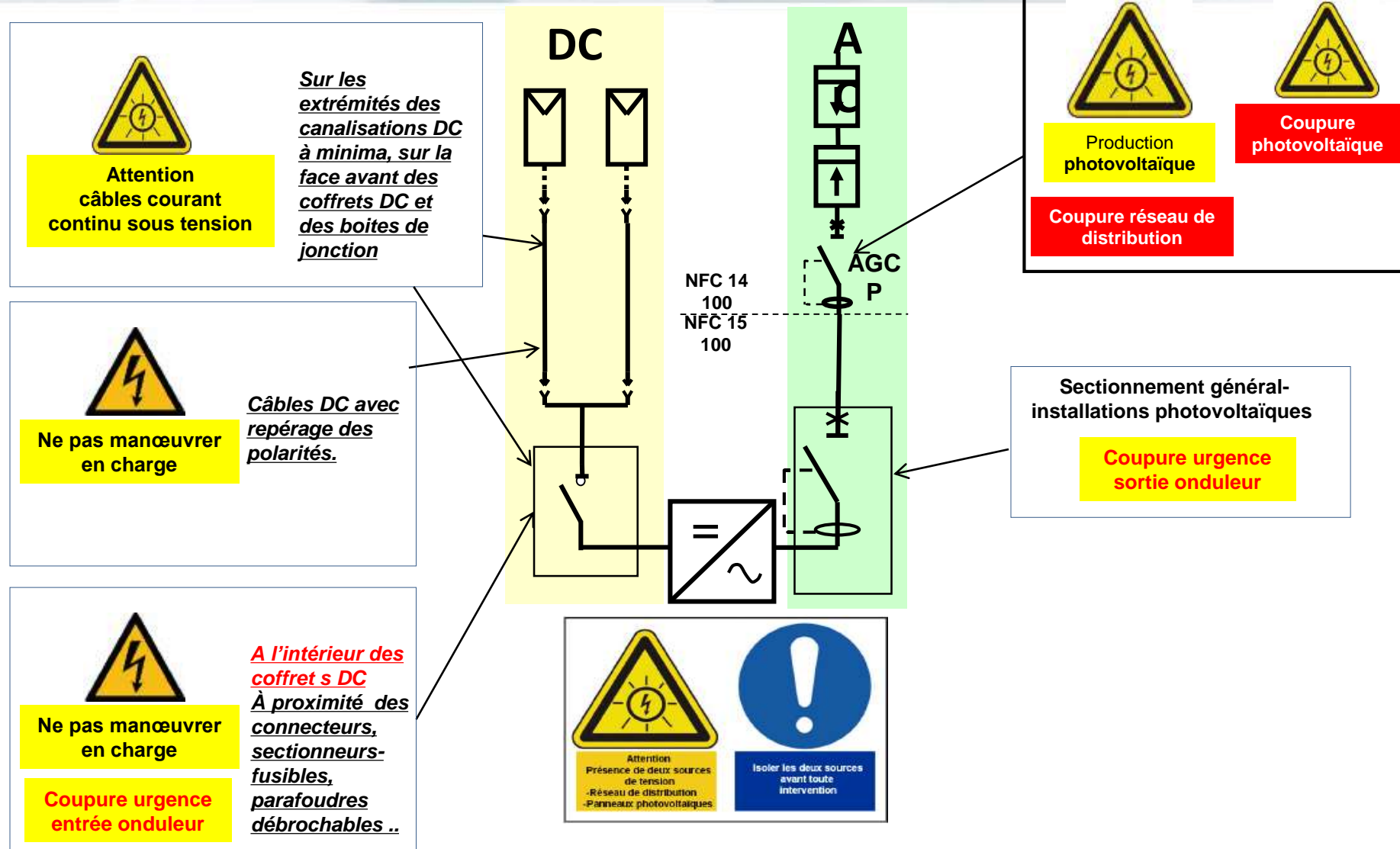
Qui	Quoi	Comment
Installateur	Travailler hors tension	Déconnecter les modules, en particulier lors du raccordement des coffrets et de l'onduleur
	Ne pas travailler sous tension supérieur à 60V	Déconnecter le module de la chaîne avant tout travail particulier sous tension ex: réaliser un connecteur
	Être vigilant à toutes dégradations possibles de l'enveloppe/isolation des matériels	Contrôle visuel lors de la mise en œuvre du matériel en particulier boîte de jonction, câble, connecteur et coffret
	Maintenir une protection IP2X, en particulier dans coffret	Soigner la réalisation de toutes les connexions (dénudage)
	Prévenir le danger	Transmettre les consignes de sécurité, d'intervention et d'exploitation
	Signaler le danger	Pictogrammes adaptées,
Exploitant	Surveiller l'état du matériel et du signalement du danger	Contrôle visuel du matériel
	Alerter en cas de défaut	Contrôle périodique des alertes de l'onduleur
	Ne pas détériorer le matériel	Protéger ou adapter les protections en fonction de l'évolution de l'activité ou de l'environnement
	Anticiper les dégradations possibles	Prévenir les personnes ayant des activités à proximité des installations
Intervenant	Prendre connaissance de l'installation	Lire le dossier technique de l'installation et de la signification des messages d'erreur de l'onduleur
	Vérifier l'isolation de l'installation	VAT systématique et avant toute intervention
	Inspection visuelle des isolants, connexion avant manipulation	Contrôle visuel, Test mécanique avec outil isolé
	Prise de mesures en sécurité	Appareil classe 2, cordon avec pointes de touche protégée ou connecteurs adaptés
	Travailler en Très Basse Tension de Sécurité (TBTS)	Ne pas hésiter à couper (coté AC) puis sectionner et isoler la zone d'intervention selon procédure (coté DC)

Défaut d'isolation, comment fait-on?

- ▶ **Recours aux Equipements de Protection Individuelle EPI**
 - ▶ Utilisation d'équipements de protection individuelle (gants isolants, écran facial,...)
 - ▶ Utilisation de matériel de sécurité (outils isolants, vérificateur absence de tension, banderoles de signalisation,...)
- ▶ **Coupure et isolation de la partie en défaut (sous 60V si possible)**
- ▶ **Réparation du défaut**



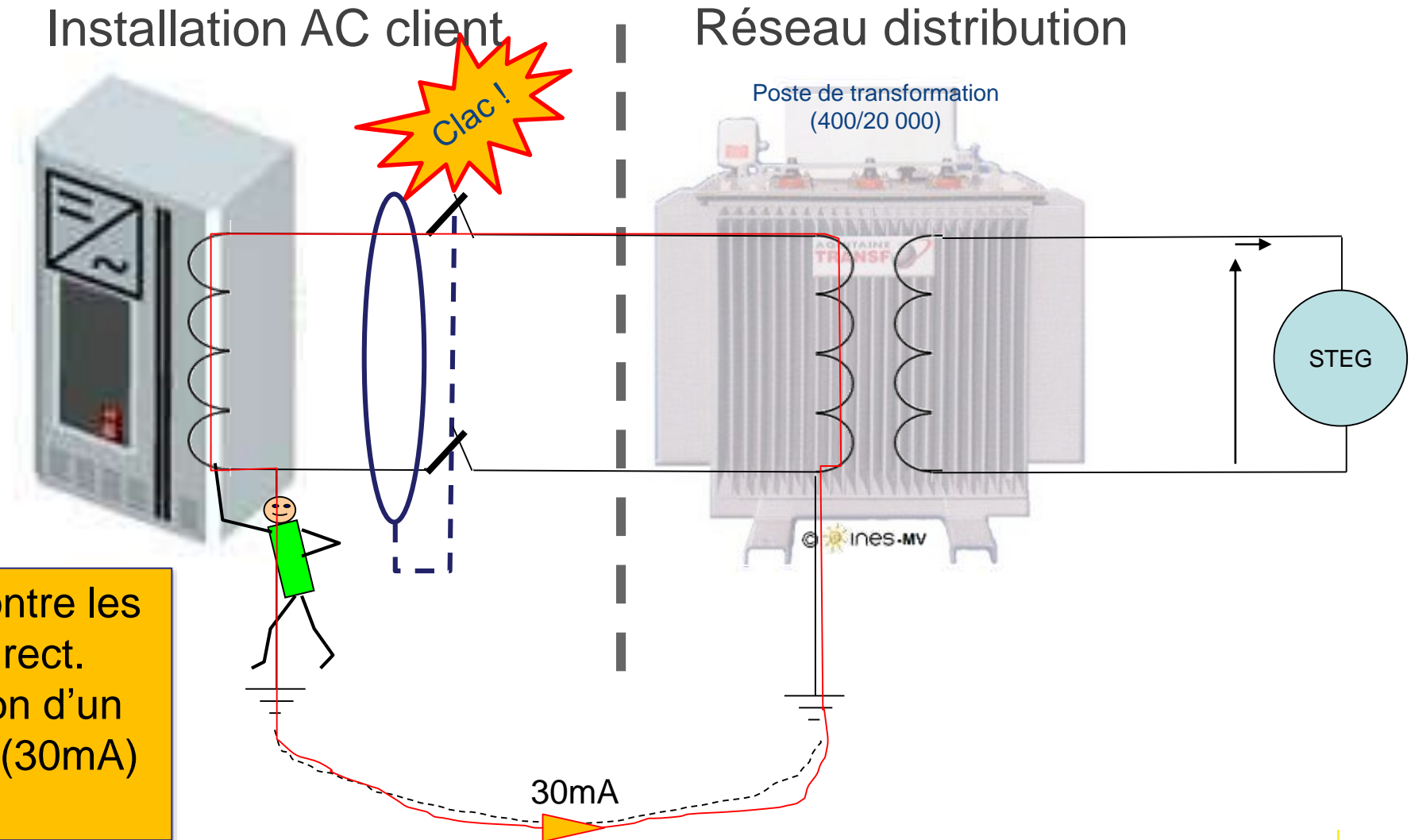
Prévenir le danger: Signalisation et étiquetage



Protection des personnes en Basse Tension

Protection contre les chocs électriques = électrification

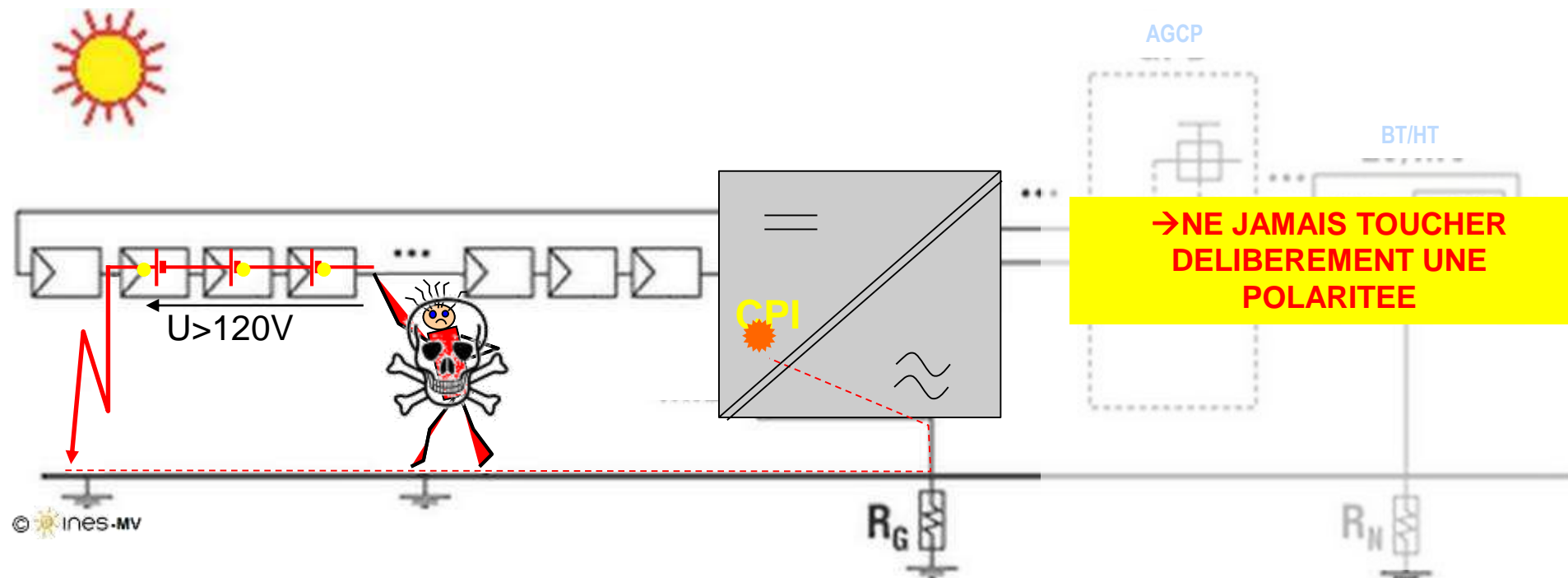
Protection des personnes coté AC: Régime de terre TT et Protection Différentielle



Protection différentielle contre les contacts directs ou indirect.
Déclenche dès l'apparition d'un courant de fuite à la terre (30mA)

Protection des personnes coté DC en Basse Tension (BT):

- Par isolation double et personnel qualifié
- Par régime de terre à potentiel flottant



Côté DC : Isolation galvanique entre les polarités DC et les masses avec mise à la terre des masses

- Le régime de terre est dit à « potentiel flottant »
- Les masses sont mises à la terre pour maintenir une équipotentialité entre les masses lors de surtensions.

En cas d'ERREUR de l'intervenant: En cas de contact avec un conducteur actif, l'intervenant est protégé (impédance élevée entre les terre et les polarités).

Si il y a déjà un défaut, l'intervenant peut être en soumit à une tension qui peut atteindre plusieurs centaines de volts **danger d'électrisation.**

Protection des biens contre les surintensités:

- au niveau du module
- au niveau d'un champ
- au niveau de l'installation

Protection des personnes coté AC en Basse Tension (BT):

→ Par fusible ou disjoncteur



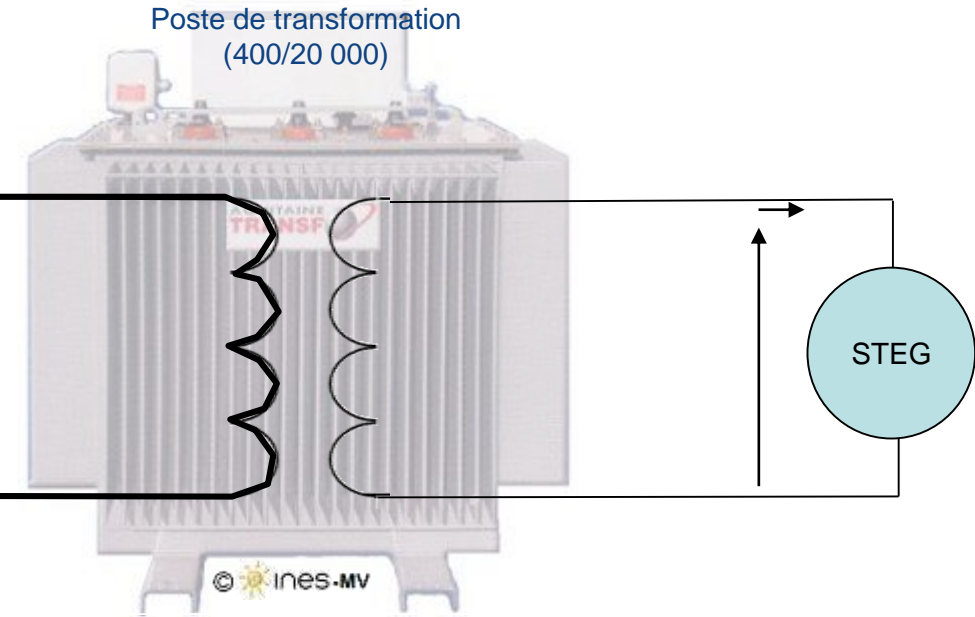
Section minimale selon In disjoncteur

In (A)	S mm ²
10	1,5
16	1,5
20	2,5
25	2,5
32	4
40	4
50	6
63	6

Installation AC client



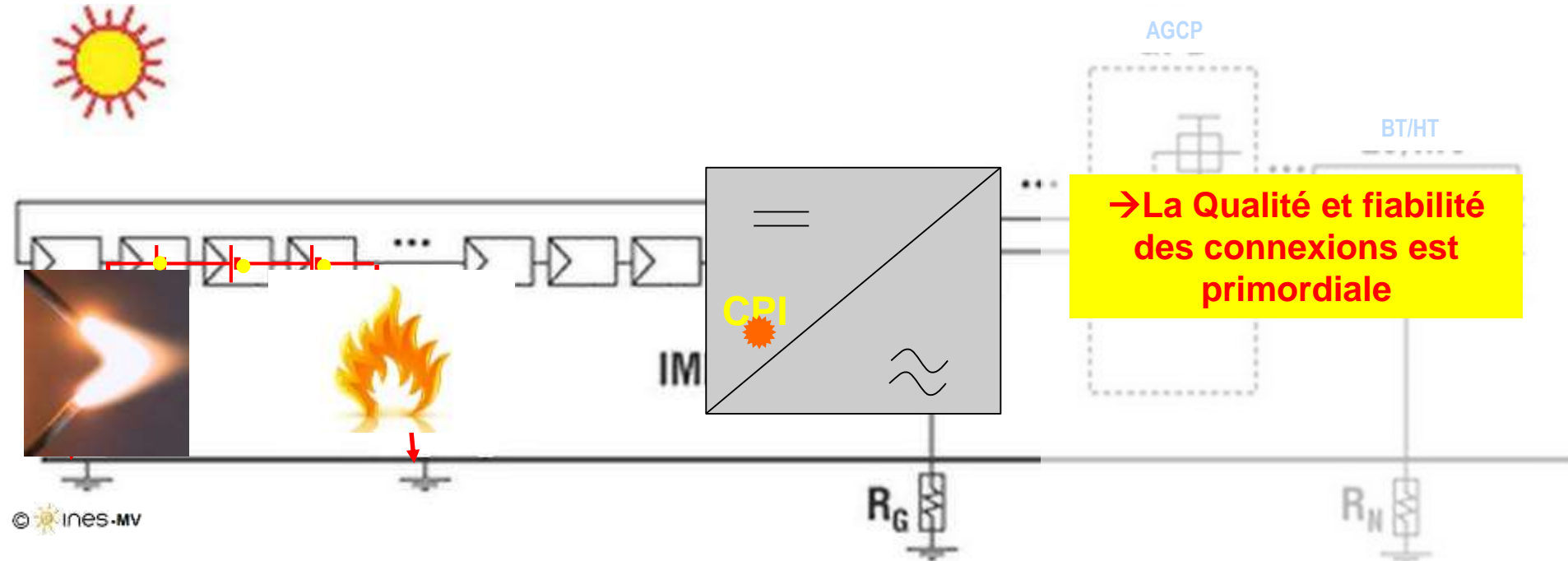
Réseau distribution



Protection traditionnelle systématique type disjoncteur ou fusible.
In calibré sur I_{max} onduleur ou 1,1 du courant à puissance nominale
Rappel, un diamètre minimal de fil est à respecté selon le calibre nominal de la protection In

Protection de l'installation coté DC:

→ Isolation double ou renforcée



Côté DC : Isolation galvanique entre les polarités DC et les masses avec mise à la terre des masses

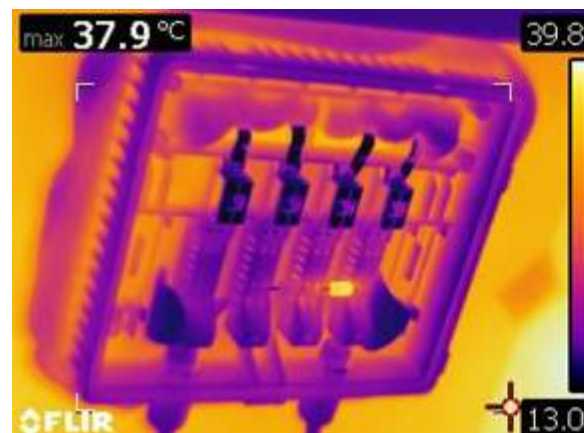
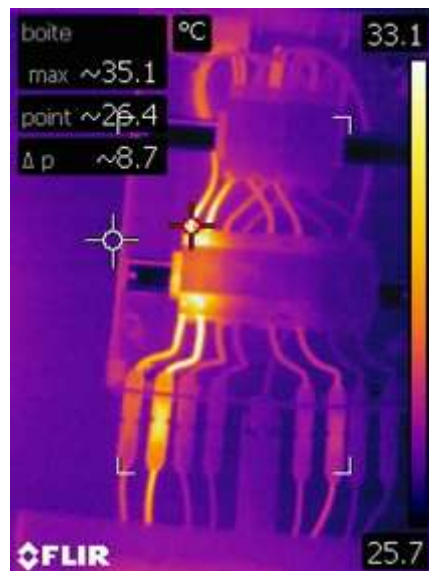
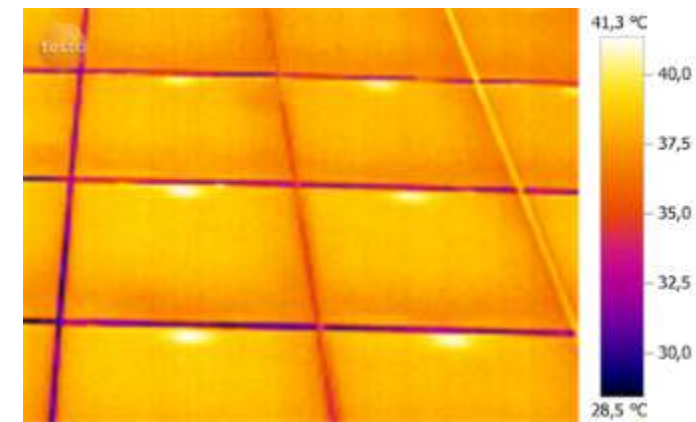
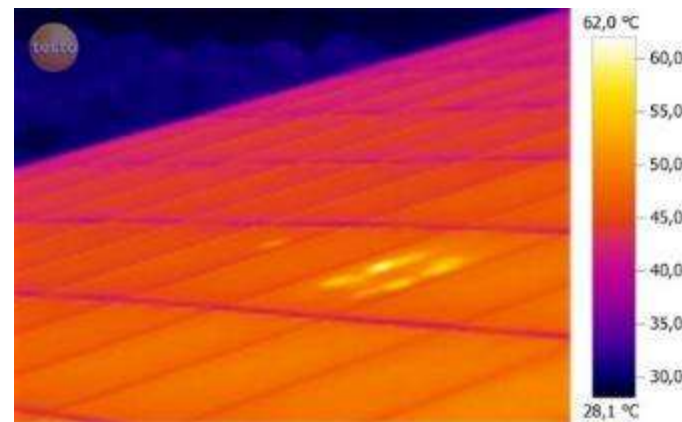
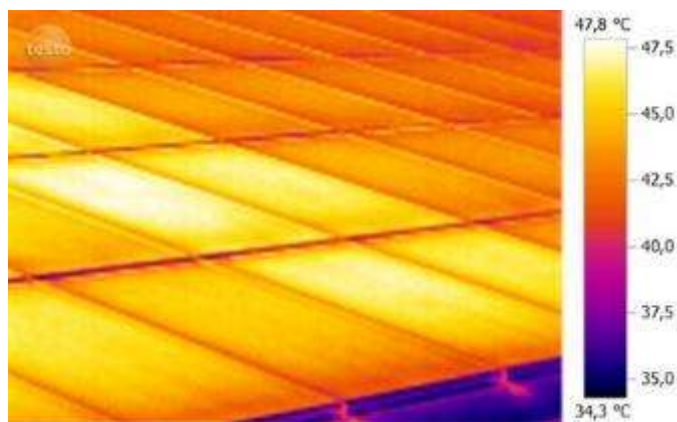
→ Le régime de terre est dit à « potentiel flottant »

→ Les masses sont mises à la terre pour limiter les différences de tension entre les masses lors de surtensions.

Premier défaut ; Impossible d'éteindre le générateur ! L'onduleur détecte et prévient le défaut grâce au CPI.

Une intervention de dépannage doit être déclenchée car en cas de **2^{ème} défaut...** risques de dommages graves !

Mise en évidence des points chauds ($P=RI^2$)



Au niveau du module: Diode bi-pass contre les effets d'ombrage

Une cellule ou un module à l'ombre devient récepteur qui va chauffer et entraîner une perte de production (ou pire encore)...

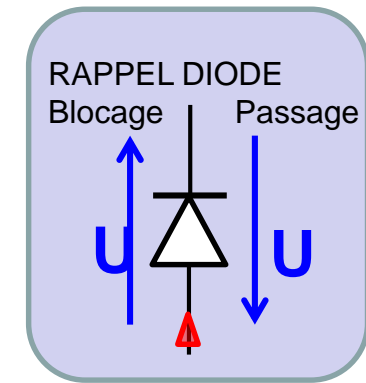
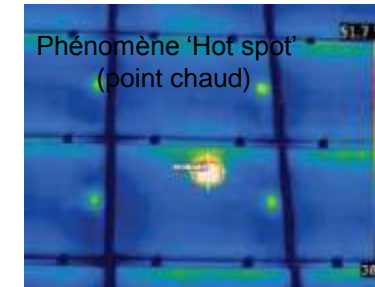
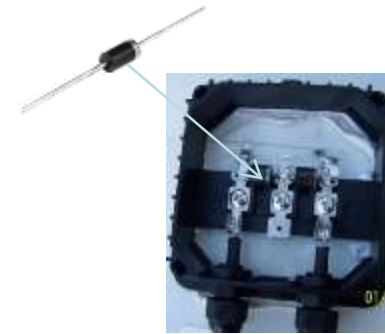
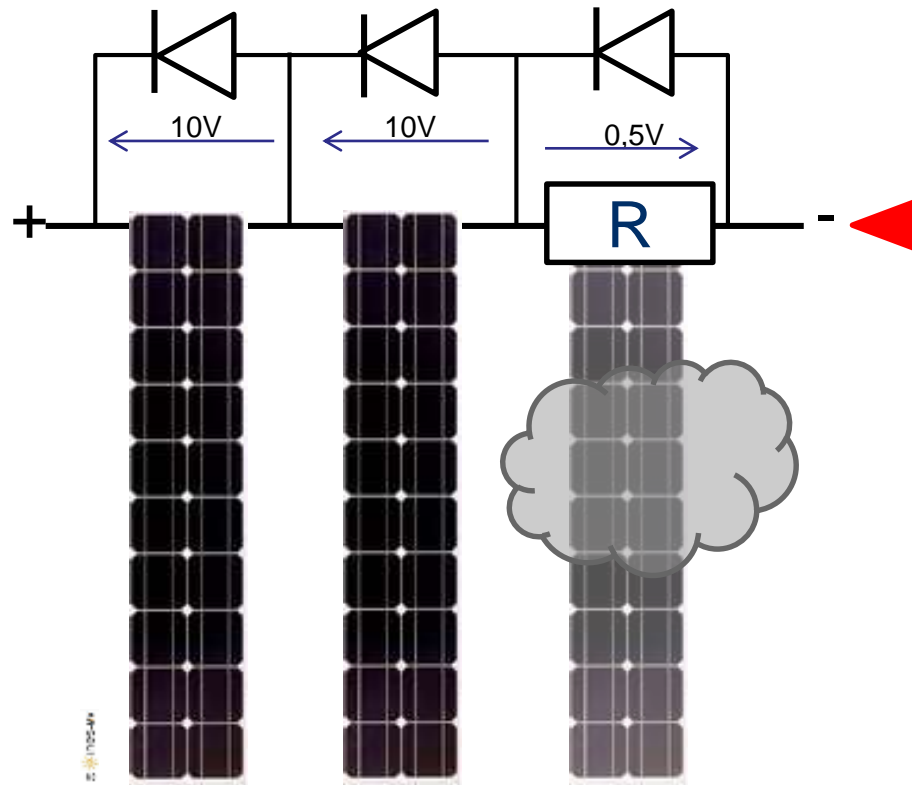
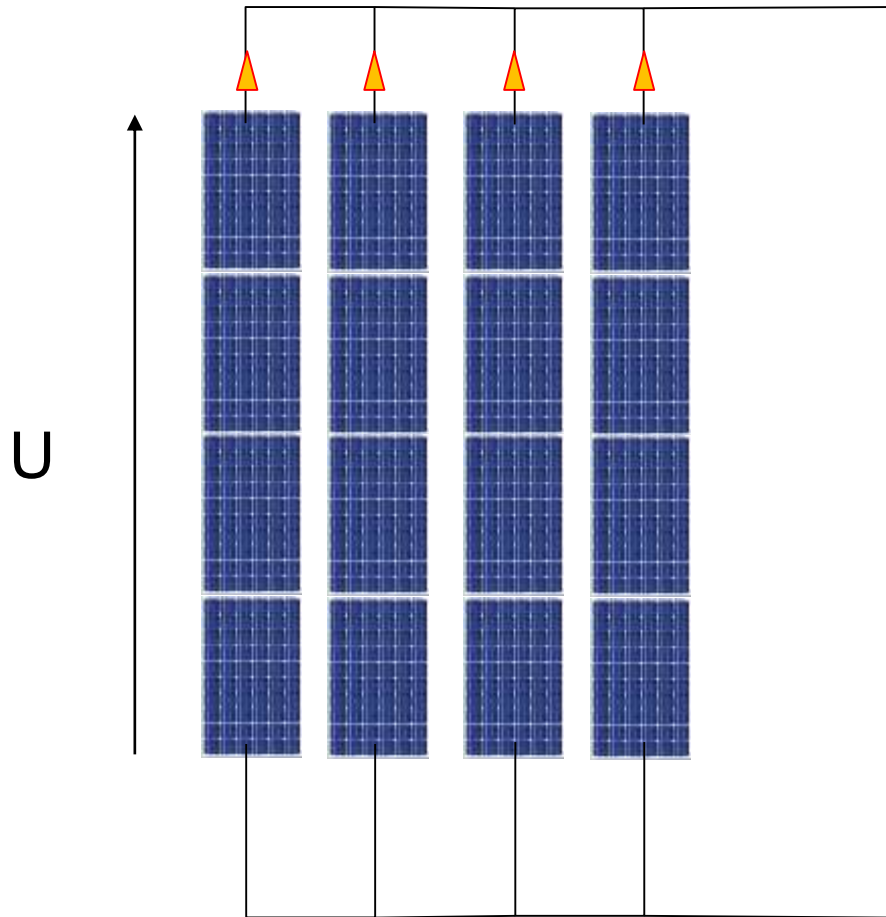


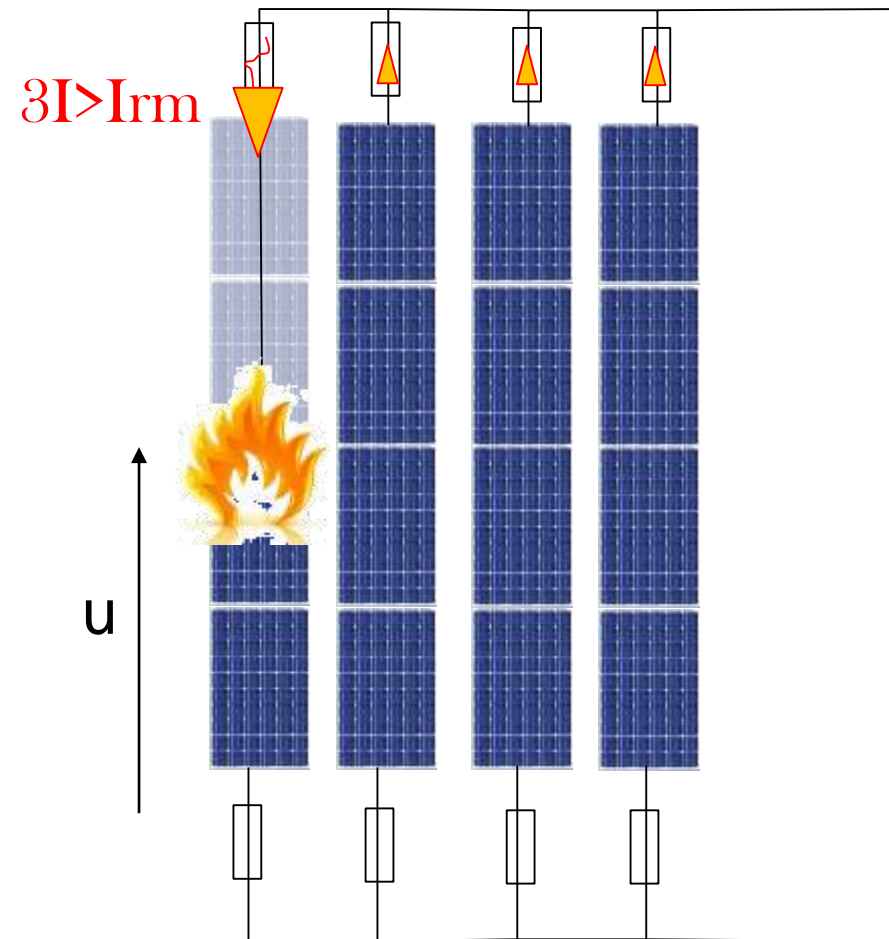
Schéma équivalent d'un module

Plus de 2 Branches: Protection contre les courants inverses

► Fonctionnement Normal



► Fonctionnement Anormal



Si Protection il y a: elle doit être sur chaque polarités.
Calcul et méthode selon C15-712-1

Protéger le système PV contre les surintensités

- Dans une installation avec plusieurs chaînes de module PV en parallèle, les modules doivent être protégés contre l'effet des courants inverses pouvant prendre naissance dans les chaînes en défaut.



Les modules peuvent supporter un courant I_{RM} qui est défini par le constructeur (selon la norme NF EN 60730-2)



Les modules peuvent-ils être exposés à un courant supérieur à I_{RM} ?
Cette question doit être posée à partir de 3 branches en parallèles.



On peut dire que si $(Nc - 1) \times I_{scmax} > I_{rm}$ il est nécessaire de protéger le générateur.
Rappel: $I_{scmax} = 1,25I_{scstc}$



La protection peut être de type Fusible ou Disjoncteur et devra être placée sur chaque polarité de la chaîne.



Le courant nominal I_N de la protection doit être tel que $I_B \leq I_N \leq I_{RM}$,
D'après le guide de l'UTE C15-712-1 :

- $I_B = 1.45 \times I_{cc}$ pour les fusibles
- $I_B = 1.3 \times I_{cc}$ pour les disjoncteurs

Choix des protections contre les surintensités

Aperçu de la méthode selon la norme NF C15-712-1

Etape 1

-Nombre Maximal de chaine en parallèle sans protection

Etape 2

-Nombre Maximal de chaine en parallèle par dispositif de protection

Etape 3

-Dimensionnement des dispositifs de protection (Fusible)

Etape 4

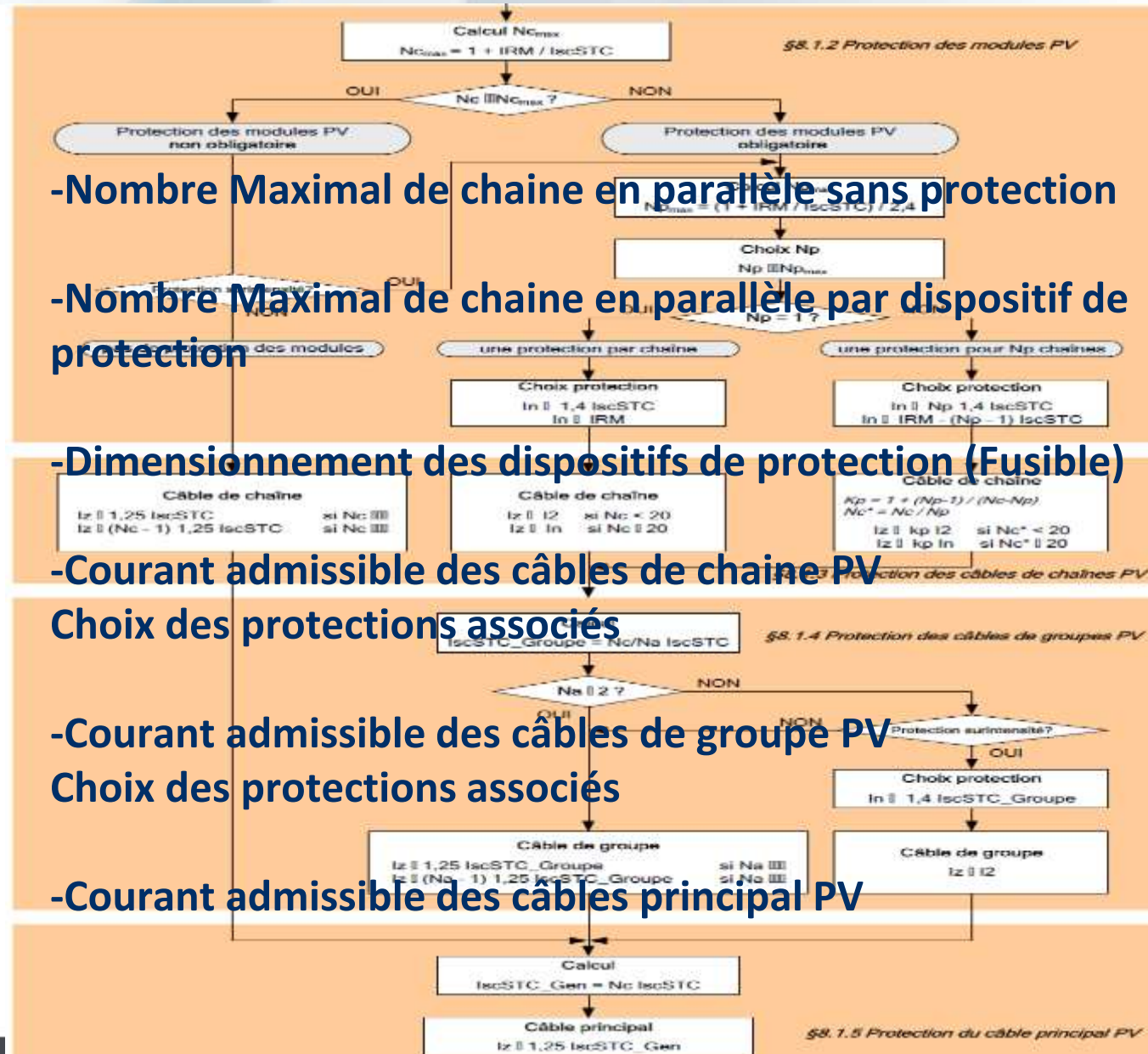
-Courant admissible des câbles de chaine PV
Choix des protections associés

Etape 5

-Courant admissible des câbles de groupe PV
Choix des protections associés

Etape 6

-Courant admissible des câbles principal PV



Protection des bien coté AC en Basse Tension (BT): → Par fusible ou disjoncteur



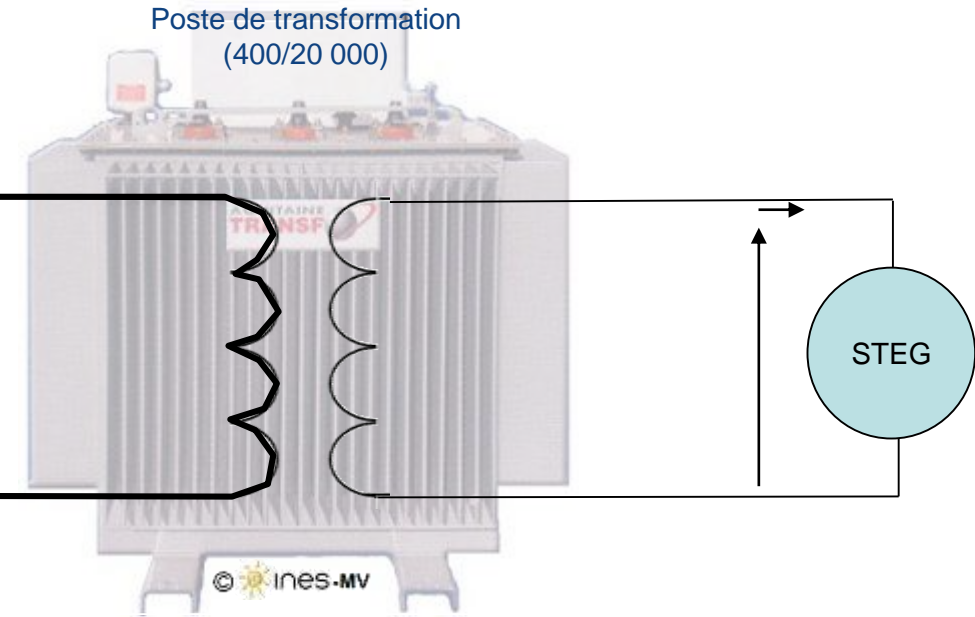
Section minimale selon In disjoncteur

In (A)	S mm ²
10	1,5
16	1,5
20	2,5
25	2,5
32	4
40	4
50	6
63	6

Installation AC client



Réseau distribution



Protection traditionnelle systématique type disjoncteur ou fusible.
 In calibré sur I_{max} onduleur ou 1,1 du courant à puissance nominale
 Rappel, un diamètre minimal de fil est à respecté selon le calibre nominal de la protection In

Surintensité: Qui, Quoi, Comment !

Qui	Quoi	Comment
Installateur	Responsabilité générale du dimensionnement	Notes de calculs à l'appuis
	Plus de 2 chaînes: Faut-il des protection?	Note de calcul justifiant la nécessité ou pas de protection et leurs calibre Indiquer dans le dossier de suivi les opérations de maintenance relatives
	Régime de terre IT (sauf rare exception justifiée)	Contrôle en fin de chantier
	Sections de câbles	Contrôle de Iz en fonction de T° et mode de pose, Chute de tension < 3%
Exploitant	Contrôle des signaux	Vérification des voyants, et autre points notés dans dossier de suivi Contrôle visuel position disjoncteur
Intervenant	Opération de maintenance hors charge (hors tension souhaitable)	Respecter procédure déconnexion
	Risques d'arc à l'ouverture	EPI

Liste non exhaustive, à adapter en fonction du site...

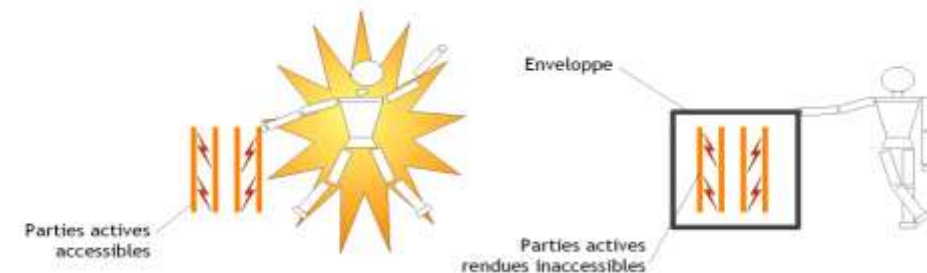
Rappels Spécificités PV

- ▶ Impossibilité d'interrompre le générateur
- ▶ Courant continu → Arc électrique difficile à interrompre
 - ▶ Icc à peine supérieur (de 10%) à Impp
 - ▶ Icc et Impp variable f(ensoleillement)

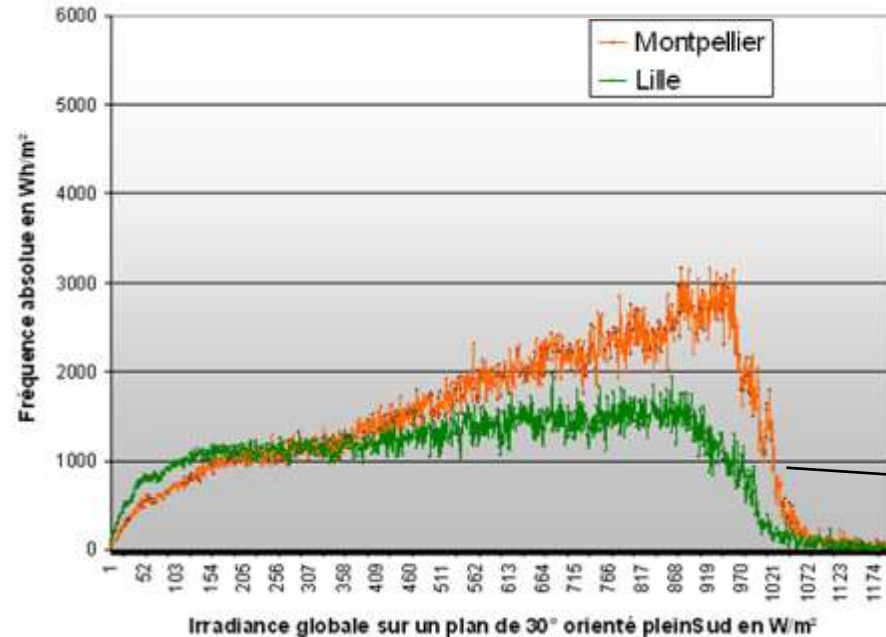


Réponses spécificité PV

- ▶ Polarité indépendante à la terre
- ▶ Matériel spécifique PV (Normes Produits)
 - ▶ Tenue au courant Icc
 - ▶ IP2X
 - ▶ Double isolation
- ▶ Formation des intervenants
 - ▶ Habilitation BR, BP photovoltaïque (la publication C18-510 est devenu une norme NF-18-510)
- ▶ TST possible si $U_{dc} < 60V$



NORMES PRODUITS



→ L'ensoleillement dépasse régulièrement les 1000W/m²

► Règles générales:

- Appareillage et protection AC usuels
→ **NF C 15-100**
- Appareillage et protection DC spécifique PV
→ **NF EN 60947**
→ **Double isolation**

En conditions réelles les valeurs d'exposition peuvent dépasser les Conditions Standards de Test (STC), il faut donc prendre une marge de sécurité pour le matériel utilisé sur:

- **Courant assigné > 1,25 Icc ***
- **Tension assigné > 1,15 V0 ***

* Par défaut en absence d'autre information

Zoom

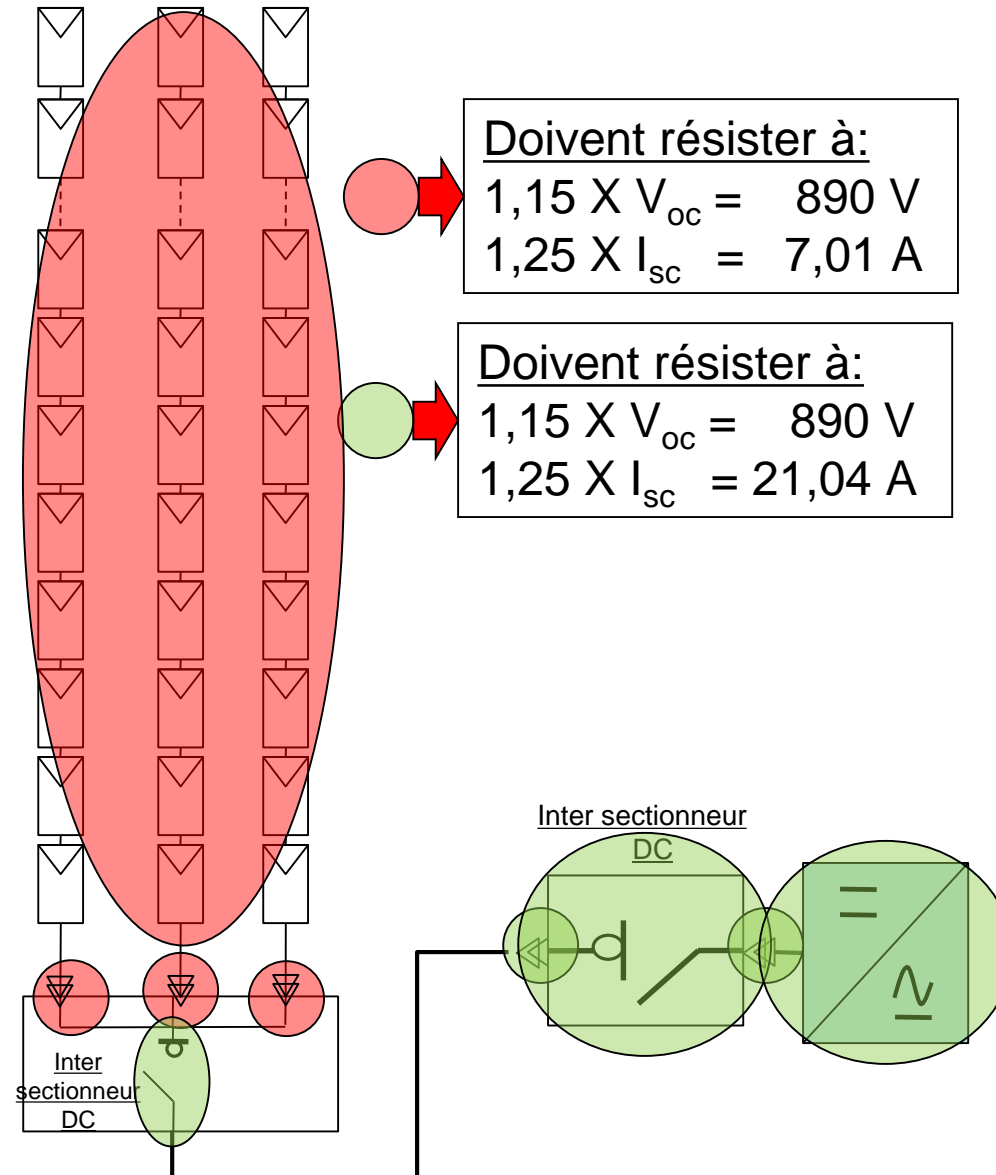
Modules, Câbles, Connecteur, Parafoudres, Fusibles, DC box, Onduleur

► Exemple d'une installation 10kWc

Modules PV	
P (watt)	215Wc
V _{oc} (Volt)	51,6 V
I _{sc} (A)	5,61 A

Branches PV	
P (watt)	15x 215 Wc
V _{oc} (Volt)	15x 51,6 V
I _{sc} (A)	5,61 A

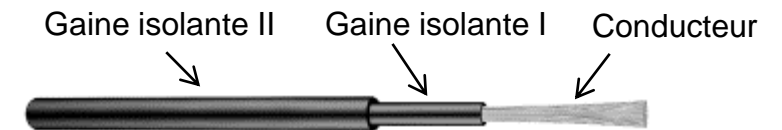
Champ PV	
P (watt)	9675 Wc
V _{oc}	774 V
I _{sc} (A)	16,83 A



► Câbles PV cf C32-502

- **Souple** (PV1000F, H07RN-F), RO2V possible en intérieur
- **Unifilaire**
- **Stable aux UV (AN3)**
- **Non propagateur de la flamme (C2 minimum)**
- **T° permanent de l'âme 90° C mini**
- **$\Delta U < 3\%$ sous U_{MPP} et I_{MPP}**

(Calcule selon C15-100 isolation PR)



► Modules NF EN 61730

- **Silicium cristallin** (mono ou poly)
 - NF EN 61215
- **Couche mince**
 - NF EN 61646



► Connecteurs NF EN 50521

- Étiquette signalant « ne pas déconnecter en charge »
- IP2x ouvert
- IP 54 fermé
- Protection mécanique contre les déconnexions fortuites si accessible
- Assimilé à un sectionneur unipolaire



► Parafoudres

UTE C15-443 et guide C61-740

- Coté AC, NFC 61643-11
- Coté DC, UTE C 61-740-51

Dispositif de déconnection

$U_p < 80\% U_w$

$U_{cpv} < U_{ocmax}$

U_p niveau de prot du parafoudre

U_w tenue au choc du matériel

U_{cpv} tension max admissible du parafoudre

U_{ocmax} tension max du système PV (1,3U0)



Normes Produits

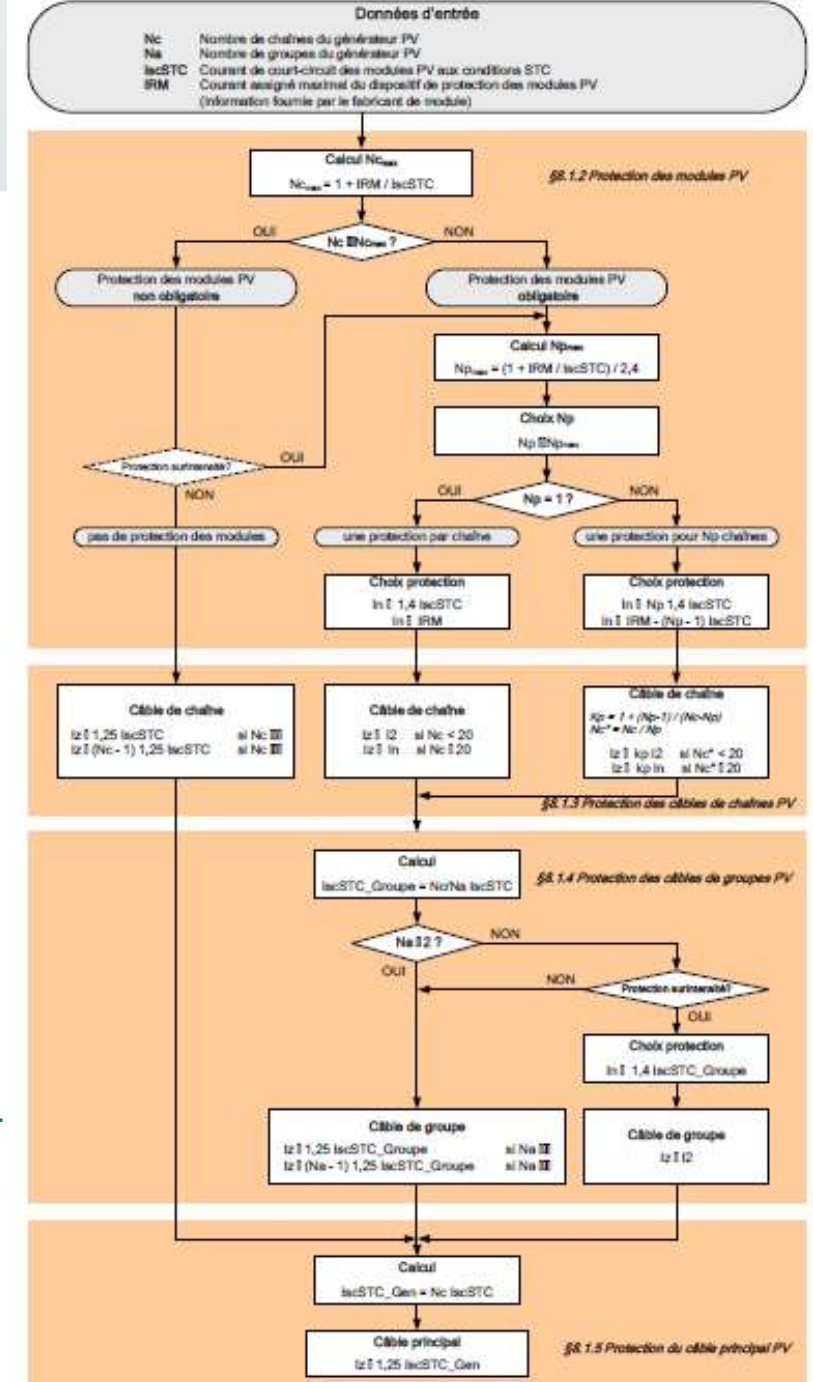


► Fusibles lorsque plus de 2 strings en //.

- Fusion rapide
- Spécifique PV (gPV)
- Disjoncteur DC possible



TD protection des surintensités suivant la C15 712.



► Onduleurs :

- Protection de découplage : **VDE126-1-1** ou **VDE 0126**
- Interface réseau : CEI 61727
- Compatibilité électromagnétique : EN55014
- Harmoniques : CEI 61000-3-2
- Sécurité : EN 60950
- CEI 62109
- Certificats de tests délivrés par laboratoire agréé

► A proximité de l'onduleur:

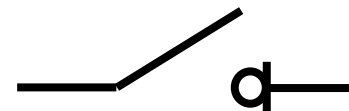
Dispositif de coupure d'urgence
omnipolaire et simultanée pour chaque
circuit AC et DC

► Coffret DC

- Interrupteur sectionneur
- Parafoudre intégré éventuel

► Coffret AC

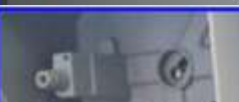
- Interrupteur sectionneur
- Disjoncteur et différentiel éventuels
- Parafoudre intégré éventuel



Utilisation de la DC box pour l
Séparation maximum
Utilisation d'un contacteur
déclassé pour D

Cohabitation AC et DC possible avec séparation physique

Coffrets: Photos et précisions (non exhaustives) de la C15-712



Instrumentation
Signalisation
Avertir « ne pa
Marquage ina

Dans les locaux d'habitations, les dispositifs de coupure d'urgence doivent être à action manuel direct

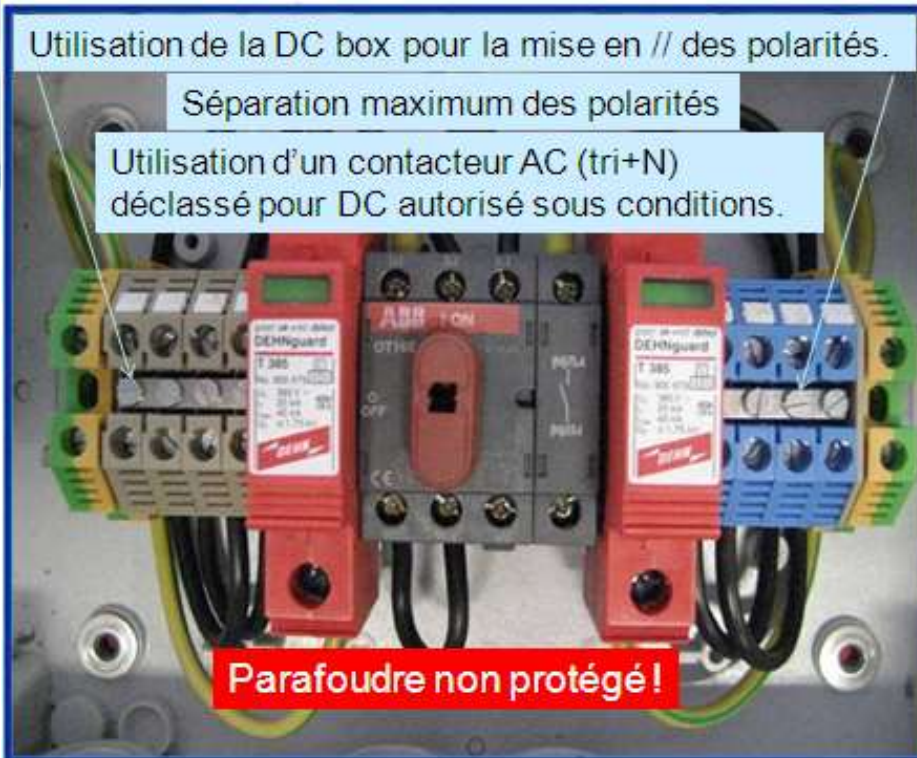
Toutes boîtes directement en aval des chaînes doivent être équipées de connecteurs pour assurer des interventions en toute sécurité

... voir C15-712

Utilisation de la DC box pour la mise en // des polarités.

Séparation maximum des polarités

Utilisation d'un contacteur AC (tri+N)
déclassé pour DC autorisé sous conditions.



Parafoudre non protégé !

Dans les locaux d'habitations, les dispositifs de coupure d'urgence doivent être à action manuel direct



Cohabitation AC/DC possible avec séparation physique



Interrupteur sectionneur DC externe à l'onduleur



Coupure d'urgence DC à commandes séparées
par MPPT possible pour les onduleurs multi string.

Instrumentation possible
Signalisation de pièces sous
tension même après
sectionnement de
l'onduleur.

Avertir « ne pas manœuvrer
en charge » sur les
sectionneurs

Marquage inaltérable.

**Toutes boîtes directement
en aval des chaînes
doivent être équipées de
connecteurs pour assurer
des interventions en toute
sécurité**

Protection des biens contre les surtensions liées à la foudre:

- Pourquoi une protection foudre ?
- Qu'est ce qui est systématique ? → le câblage DC
 - Boucle d'induction
 - Liaison équipotentielle des masses
- Qu'est ce qui n'est pas systématique ? → le parafoudre
 - Quand mettre un parafoudre ?
 - Une bonne protection dépend d'un bon montage: règles de mis en œuvre

- ▶ Coup de foudre, parafoudre et mise en œuvre
- ▶ Réglementation Normative, quand mettre un parafoudre?
 - **Coté AC**
 - **coté DC**



- ▶ Documentations de référence:
 - ***Guide C15-443 Protection des installations électriques basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manœuvres - Choix et installation des parafoudres.***
 - ***Guide C61-740 Parafoudres basse tension et Parafoudres pour applications spécifiques incluant le courant continu - Partie 52: Principes de choix et d'application - Parafoudres connectés aux installations photovoltaïques.***
 - ***Guide C15-712 Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution – Partie 13: Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manœuvres.***

Coups de foudre normalisés

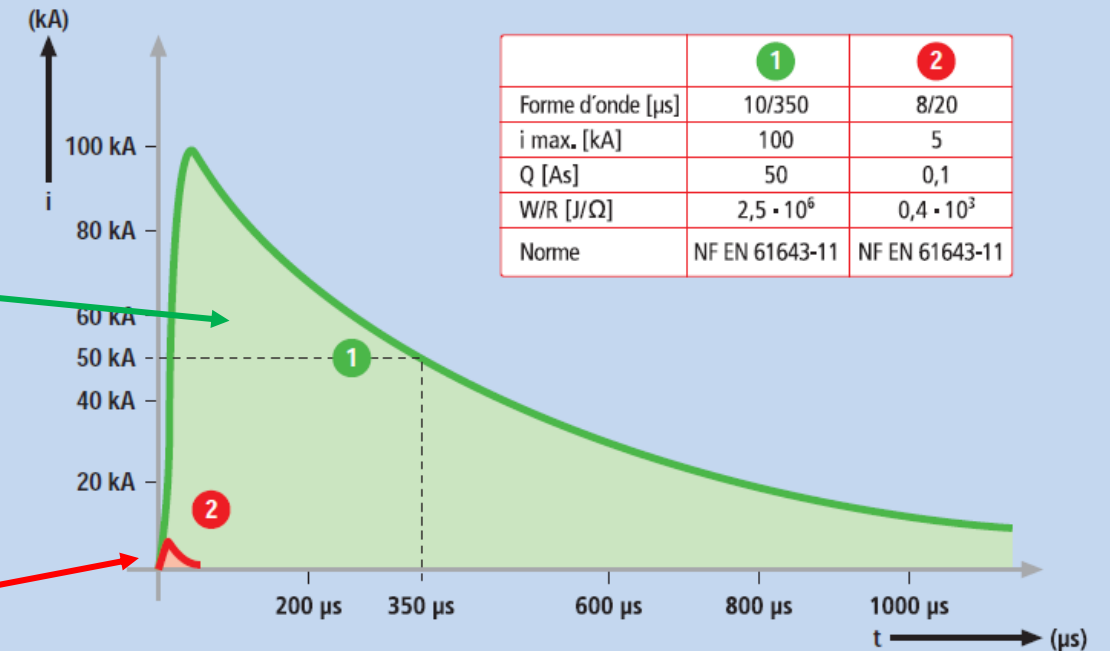
Coup de foudre direct: Type 1



Coup de foudre indirect, Type 2



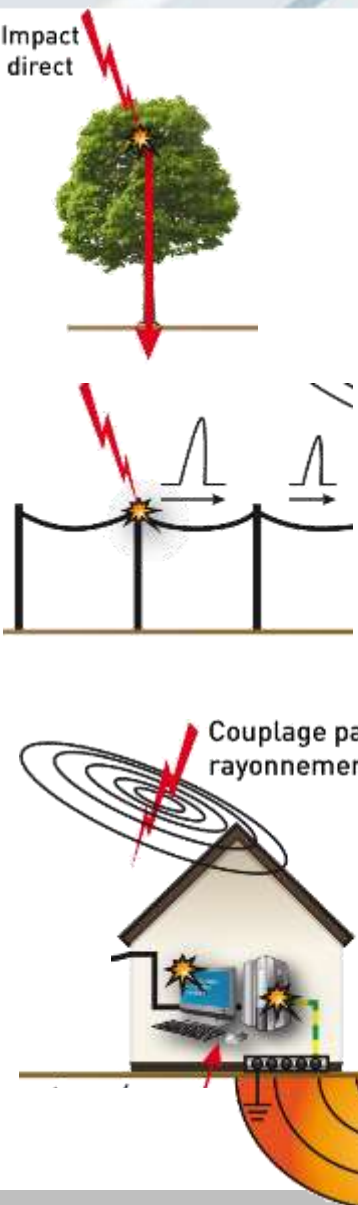
Comparaison des impulsions d'essais normalisées.



Type 1, type 2:

Des niveaux d'énergies différentes
=
Des performances matériels différentes

Effets de foudre et dispositifs de protection:



► Surtension **Direct** du coup de foudre:

- on va chercher à capter et drainer la foudre

→ paratonnerre + parafoudre type 1

Remarque: (le parafoudre ne protégé pas des effets indirects induits)

► Surtension **Induite ou Indirect** du coup de foudre :

- Coup de foudre indirect

→ parafoudre type 2

► 3 effets induits

1/ Champ magnétique Induit coté AC et DC

→ Réduire les boucles d'inductions

→ Parafoudre type2 / Parasurtenseur

→ Mise à la terre des masses (cadre et structure)

2/ Remonté de terre

→ équipotentialité des terres

→ équipotentialité des masses (cadre et structure)

3/ Champ électrostatique → Parasurtenseur (sans objet en PV ou intégré à l'onduleur)

QUI?

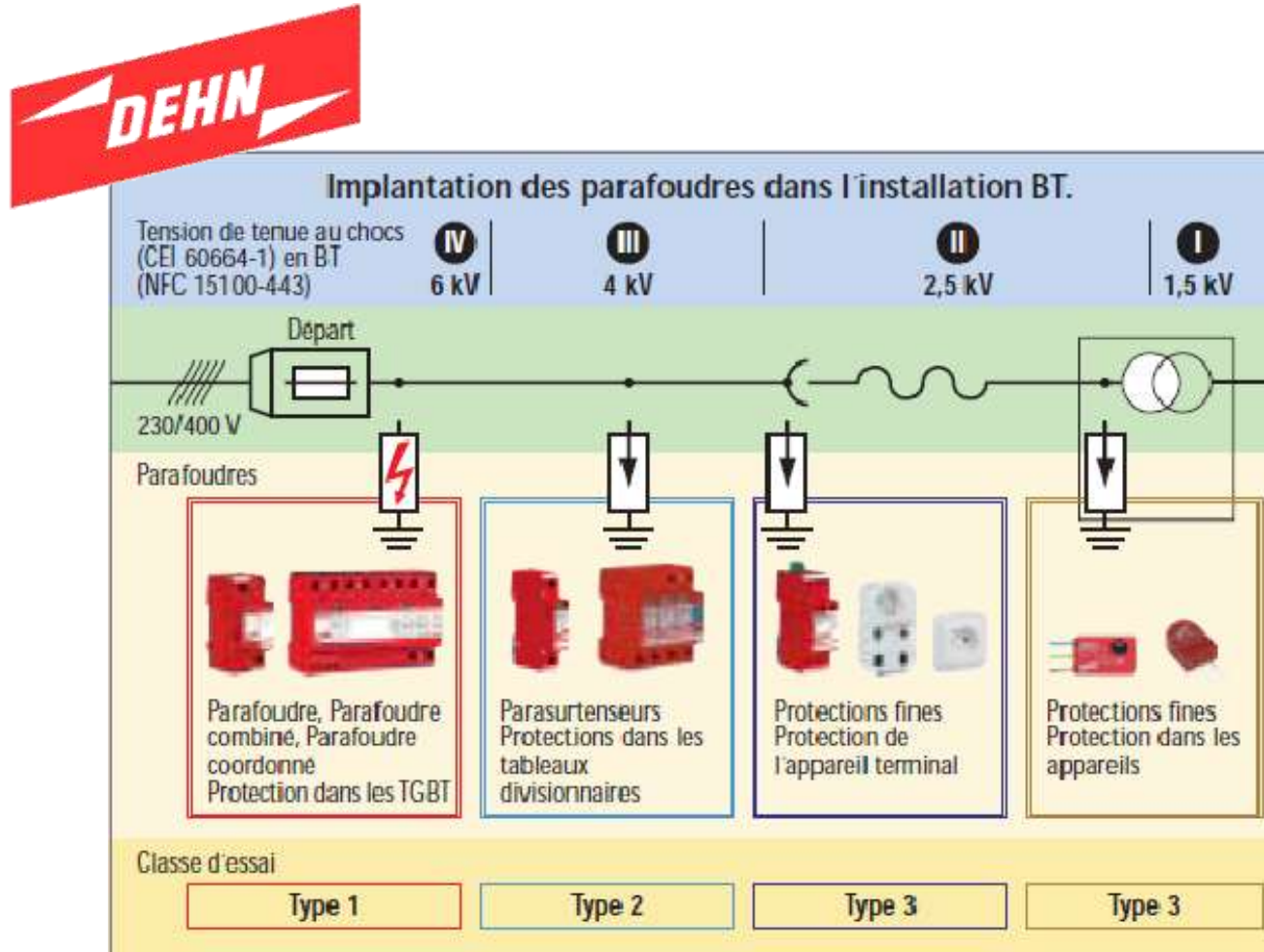


BE,
Installateur
spécialisé



Installateur
PV

Protection des surtensions

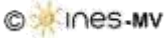


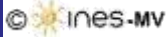
- ▶ Comme toutes les protections, les parafoudres répondent à une logique de calibre en fonction de la résistance du matériel à protégé:
 - ▶ Des protections « fortes » en amont pour écrêter le gros de l'énergie/puissance de la surtension.
 - ▶ Des protection « fines » en aval près des matériels sensibles afin de supprimer les surtensions résiduelles.

Tous les appareils n'ont pas la même Tenue au choc Uw

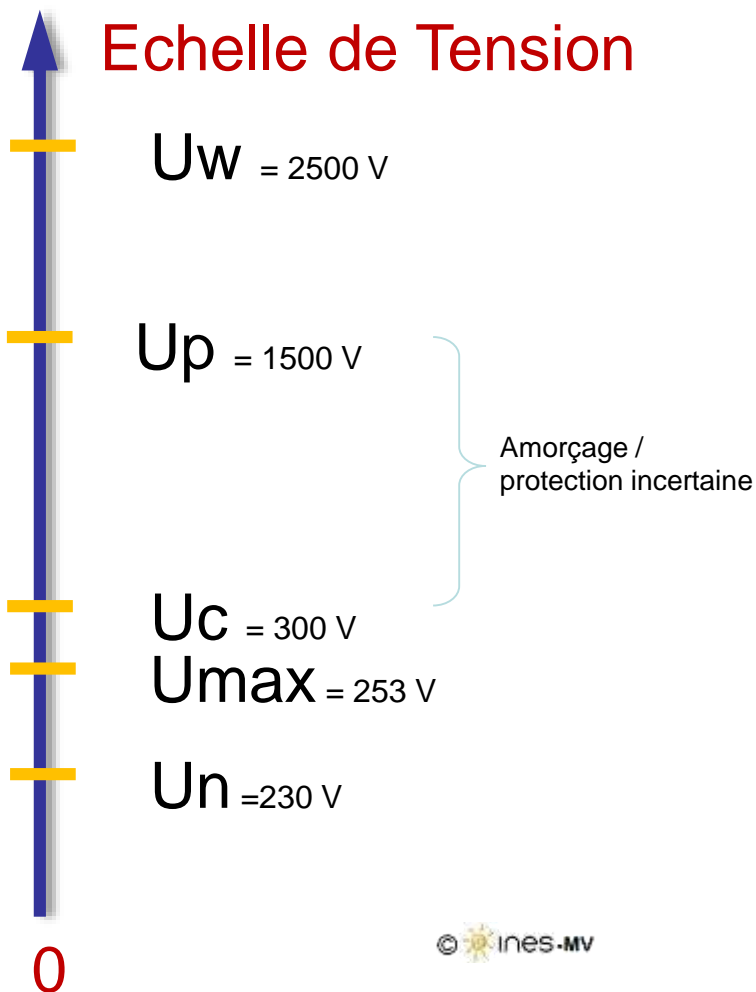
- En absence d'indication sur la tenue au choc du matériel à protéger, le tableau 10 du Guide C15712 § 13.3.2.3 nous permet d'en estimer sa valeur en fonction de sa tension maximale supportée en régime permanent: **Uw (Umax)**.



Catégorie Un= 230/400V	Uw	Exemple 
I	1500 V	matériel sensible tel que PC, informatique, TV, HiFi, Vidéo, Alarme...
II	2500 V	Appareil électrodomestique, outils portatif...
III	4000 V	Armoire, canalisation et appareil de distribution
IV	6000 V	6000 Compteur EDF, parafoudre, matériel industriel...

Tension maximale que supporte le système PV Umax ≤ à	Tenue au choc Uw Module PV de classe A (double isolation)	Uw convertisseur 
100 V	1500 V	2500 V (appareillage type II, exigence minimum)
150 V	2500 V	
300 V	4000 V	
600 V	6000 V	4000 V
1000 V	8000 V	6000 V

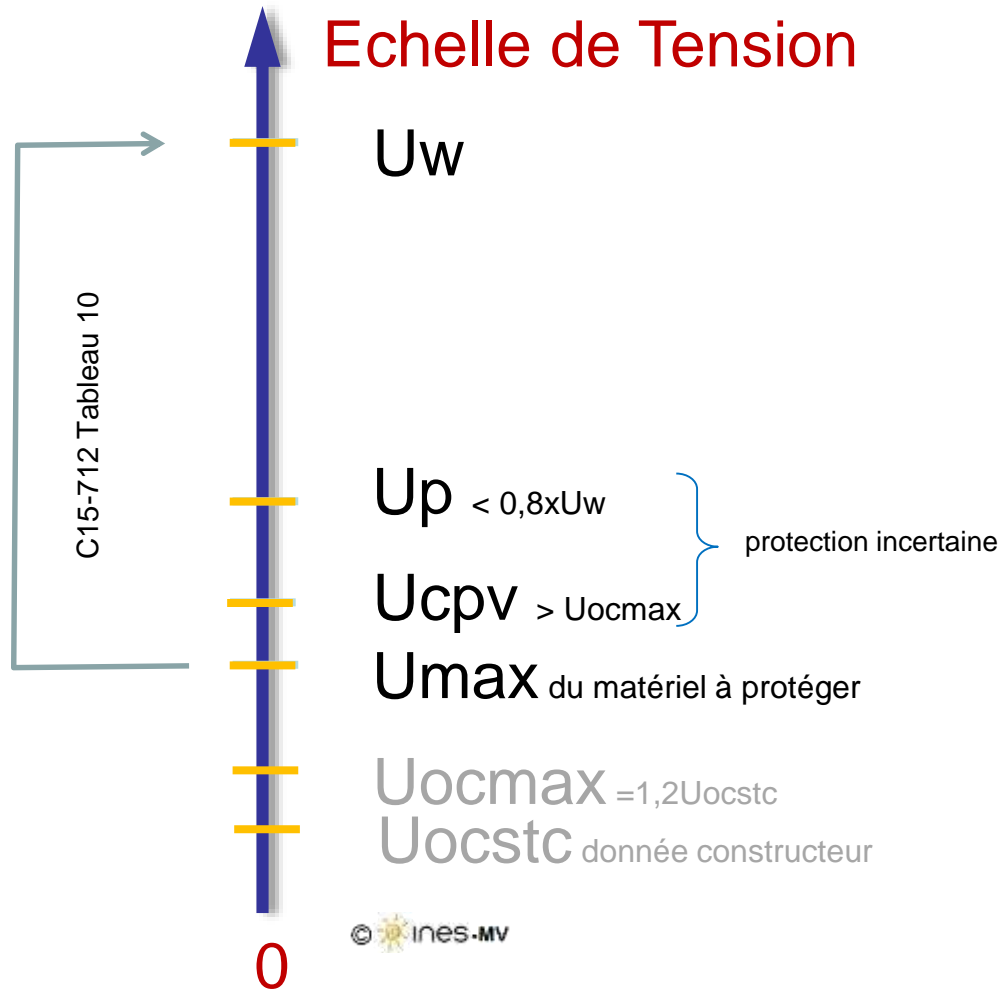
- Selon le guide GT23 de la direction technique de distribution:
Pour les équipements de conversion, [...] la tenue aux tensions chocs (Uw) peut être considérée égale à 5 x Umax, si aucune autre information n'est disponible.



Définition des termes:

- ▶ U_w : tenue au choc d'un équipement à protéger
2500 V
- ▶ U_p : Tension de protection assurée par le parafoudre
1500 V
- ▶ U_c : Tension maximum en régime permanent supporté par le parafoudre
300V
- ▶ U_{max} : Tension maximum du réseau
 $230 + 10\% = 253V$
- ▶ U_n : tension nominale
230V

Parafoudre DC: Logique de dimensionnement



Définition des termes:

- ▶ **Uw: tenue au choc d'un équipement à protégé**
Déterminer suivant tableau 10 § 13,3,2,4 de C15712-1
- ▶ **Up: Tension de protection assurée par le parafoudre**
Caractéristique parafoudre
- ▶ **Ucpv: Tension maximum en régime permanent supporté par le parafoudre**
Caractéristique parafoudre
- ▶ **Uocmax: Tension maximum du champ PV ($=1,2 U_{ocstc}$)**

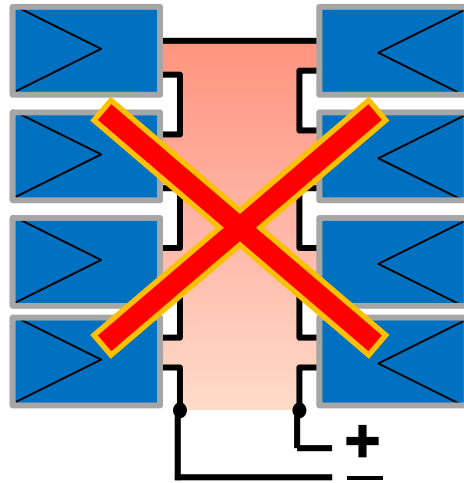
Surpression: Qui, Quoi, Comment !

Qui	Quoi	Comment
Installateur	Responsabilité générale de conception	Notes de calculs à l'appui Schéma de câblage (calepinage) dans dossier de suivi
	Réalisation conforme à la conception	Réduction des boucle d'induction, fixation des câbles Mise à la terre des masse
	Plus de X kWc	Note de calcul justifiant la nécessité ou pas de protection et leurs calibre Indiquer dans le dossier de suivi les opérations de maintenance relatives
	Disconnecteur interne ou externe	Information à renseigner → information à contrôler !
	Maintenance	Indiquer dans le dossier de suivi les opérations de maintenance relatives
Exploitant	Contrôle des signaux	Vérification des voyants, et autre points notés dans dossier de suivi Contrôle visuel position disjoncteur
Intervenant	Maintenance hors charge (hors tension souhaitable)	Respecter procédure déconnexion
	Risques d'arc à l'ouverture	EPI
	Contrôle du maintien des conditions initiales	Contrôle visuel et mécanique, remplacement éléments défectueux

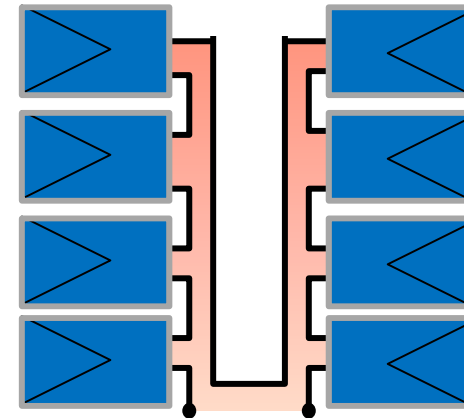
*Liste non exhaustive...

COMMENT SE PROTEGER:

1. Réduire les boucles d'inductions dans tous les cas ! Imposé par la norme
2. Liaisons équipotentielle des masses obligatoire
3. Parafoudres obligatoire dans certains cas selon la norme



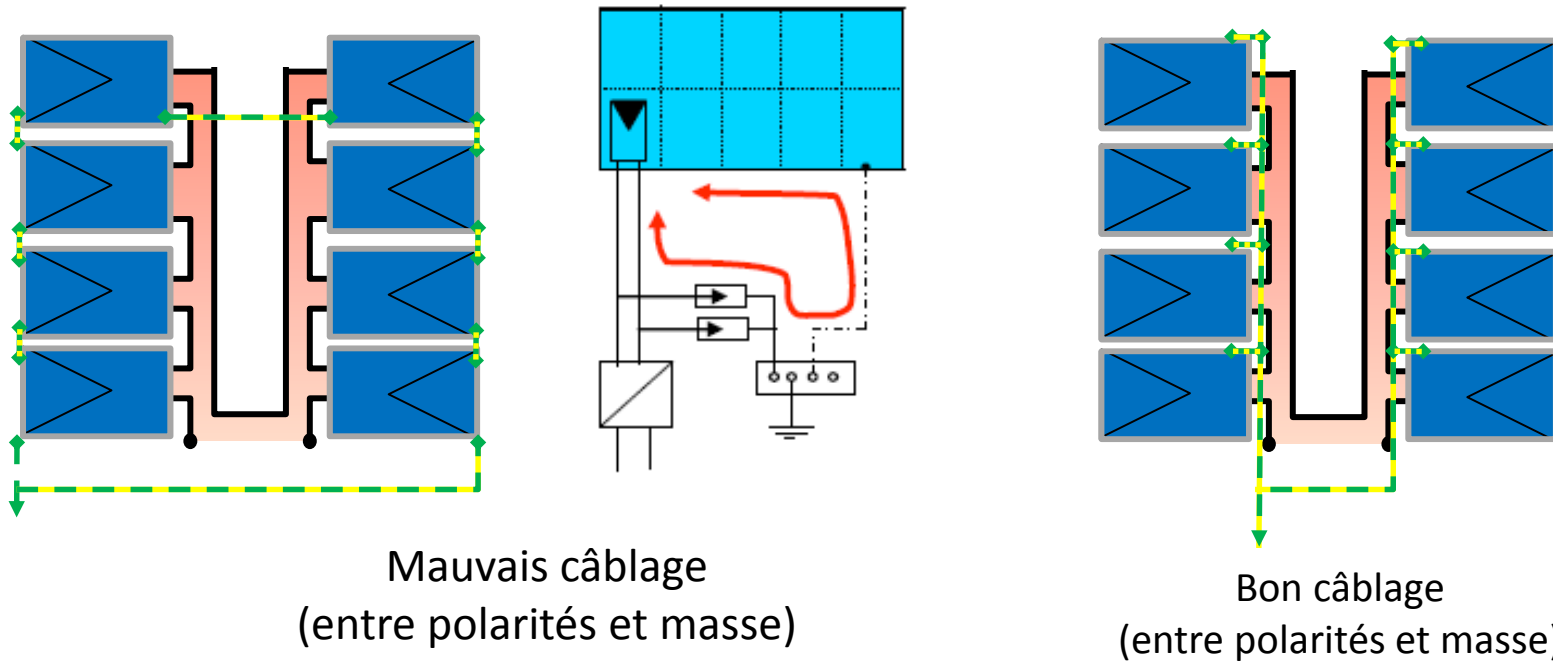
Mauvais câblage
(entre polarités)



Bon câblage
(entre polarités)

Installateur: Liaison équipotentielle

- ▶ En cas de surtension, un défaut d'isolement peut mettre une partie de l'installation au potentiel du champ PV.
- ▶ Pour éviter un risque d'électrisation de l'intervenant il est nécessaire d'assurer une liaison équipotentielle des masses.



Attention également à ne pas créer de boucle d'induction !

► Quand mettre un Parafoudre ?

Quand mettre un parafoudre coté AC

Niveaux kérauniques en Tunisie

Note - Pour obtenir la densité de foudroiement correspondante (N_g), il suffit de diviser N_k par 10.



Rappel C15-712HA

Caractéristique de l'installation	Ng ≤ 2,5 ou Nk ≤ 25		Ng ≥ 2,5 ou Nk ≥ 25	
	Côté DC	Côté AC	Côté DC	Côté AC
Bâtiment ou structure équipé d'un paratonnerre	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 ⁽¹⁾	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 ⁽¹⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2	Obligatoire Type 2 ⁽²⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement souterraine	Peu utile Type 2	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2

Note : $N_k = N_g \times 10$

2. Parafoudre DC type2 obligatoire si :

L'installation est équipée d'un paratonnerre

La longueur des câbles DC dépasse la longueur critique fonction de:

- **La zone de foudroiement**
- **La nature du bâtiment**

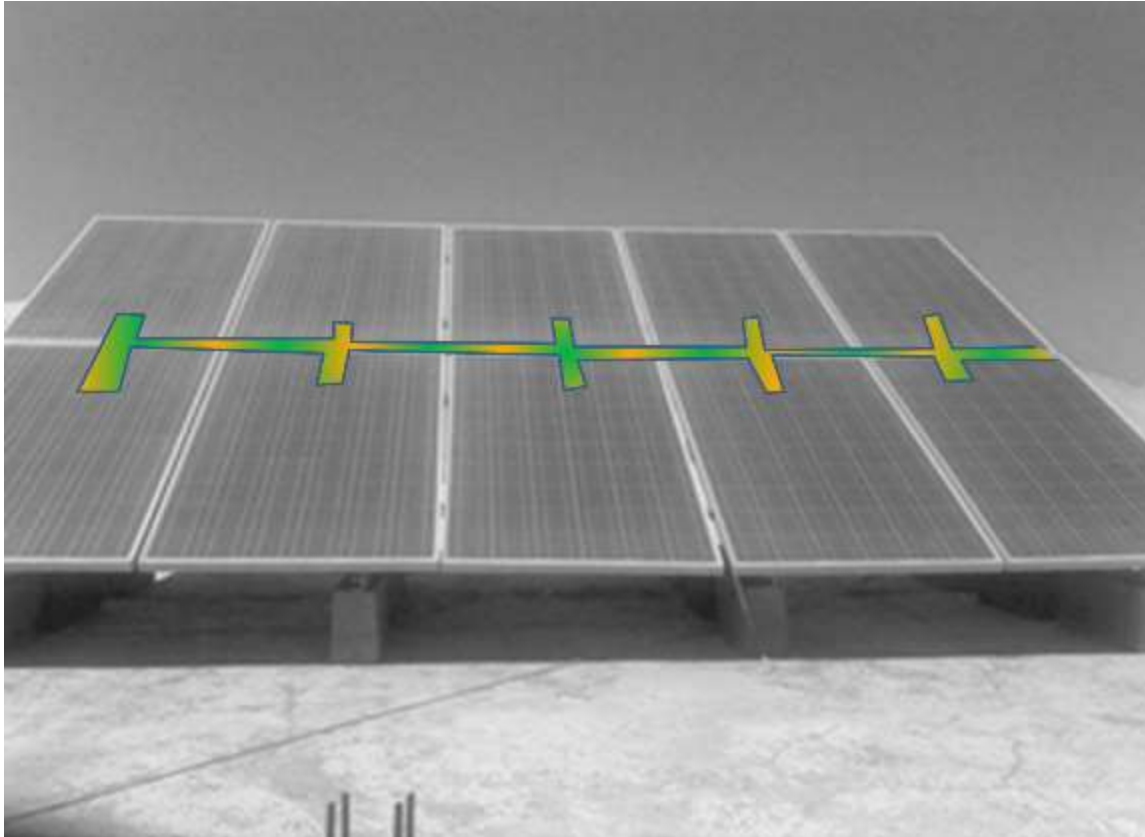
Type d'installation	Locaux d'habitation individuelle	Centrale de production au sol	Bâtiments Tertiaires/Industriels/Agricoles
L_{crit} (en m)	$115/N_g$	$200/N_g$	$450/N_g$
$L \geq L_{crit}$	Parafoudre(s) obligatoire(s) côté d.c. ⁽¹⁾		
$L < L_{crit}$	Parafoudre(s) non obligatoire(s) côté d.c. ⁽²⁾		

⁽¹⁾ La mise en œuvre de parafoudres peut ne pas être indispensable dans le cas où tous les câbles d.c. sont protégés par des enveloppes métalliques assurant un écran réduisant les effets électromagnétiques.

⁽²⁾ L'utilisation de parafoudres peut également être nécessaire pour la protection d'installations photovoltaïques dont le coût et l'indisponibilité peuvent être critiques.

NB: le parafoudre doit être installé en priorité à proximité de l'onduleur (DC box)

Petits calculs pour situer les propos...



L'amplitude du courant de foudre rapidement variable engendre un champ magnétique dont la variation donne lieu à une induction dans une boucle traversée par ce champ (Loi de Lenz).

- ▶ La tension induite dans la boucle de surface S de la figure ci-jointe est donnée par la formule suivante:

$$U = 2 \times 10^{-7} \cdot S / r \cdot di/dt$$

- avec r , distance entre le point d'impact et le centre de la boucle
- S la surface de la boucle



Plus la surface de boucle est grande, plus la surtension U est importante

Exemple 1, pour une surface de 10 m^2 et un coup de foudre de pente $50 \text{ kA}/\mu\text{s}$, tombant à 20 mètres, la surtension induite en mode commun sur la liaison signal sera de 5 kV environ.

Exemple 2, pour une installation dont le câblage est réalisée avec soins nous pouvons supposer des boucles d'inductions résiduelles:

- $4\text{cm} \times 1\text{m} = 400\text{cm}^2$ par module dans la goulotte horizontale
- $4\text{cm} \times 2 \times 25\text{m} = 20\,000\text{cm}^2$ soit 2m^2 pour 2 liaisons de 25m onduleur/module
- $4\text{cm} \times 1,5\text{m} = 600\text{cm}^2$ de la goulotte à la boîte de jonction
- 1000cm^2 soit $0,1\text{m}^2$ de boucle par module

D'après l'exemple 1 et 2 nous pouvons estimer une boucle d'induction résiduelle significative pour 80 modules [$(10-2)\text{m}^2/0,1\text{m}^2$].

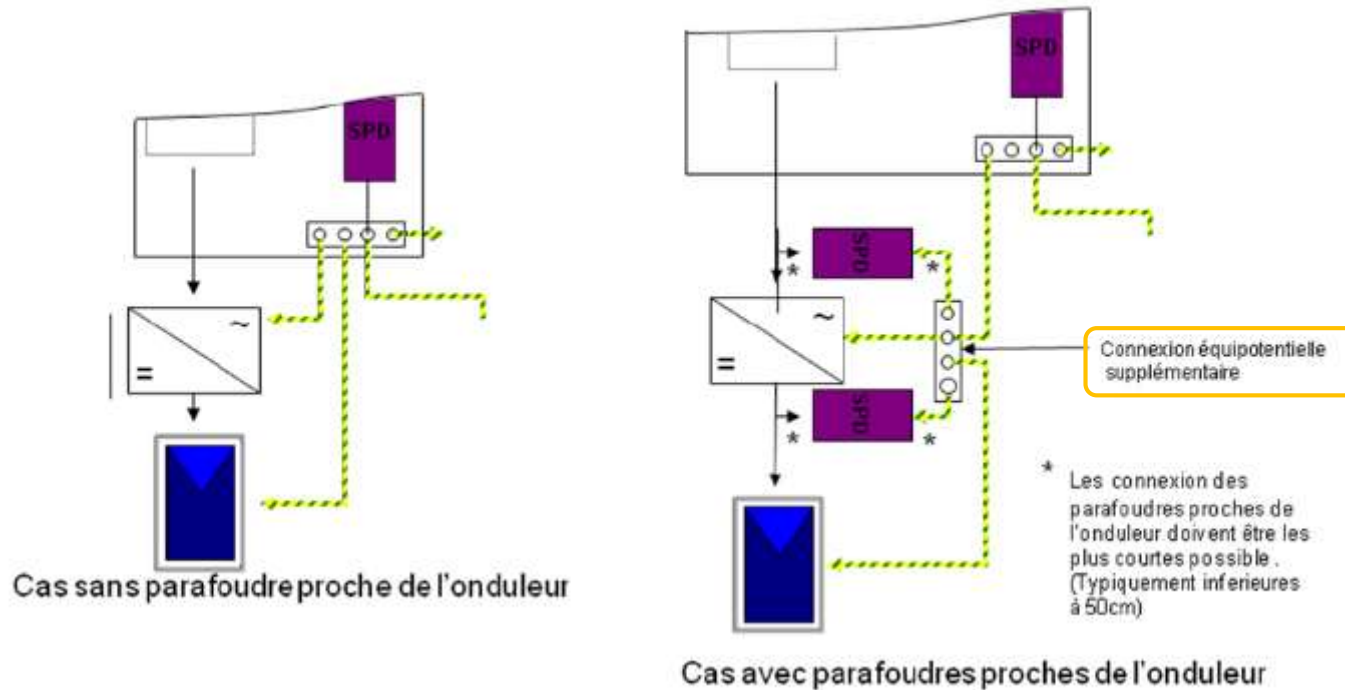
Si on ajoute un facteur 4 de sécurité, le risque apparait pour 20 modules.

En supposant des modules standards de 250Wc , la mise en place de parafoudre semble fortement recommandé à partir de 5kWc .



Installateur: Mise en œuvre des parafoudres AC et DC

Mise en œuvre suivant guide C61-740-52

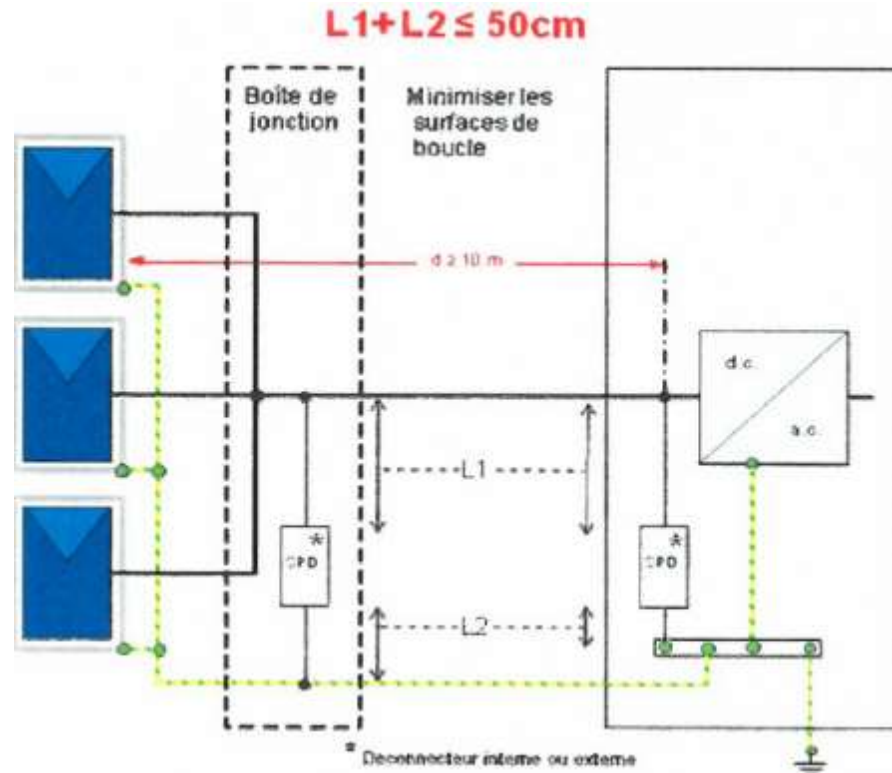


La C15-712-1 demande que la carcasse de l'onduleur soit reliée à la terre par un câble de 6 mm² au moins



► En aucun cas un parafoudre AC peut être utilisé sur la partie DC.

Installateur : Mise en œuvre du (des) parafoudre(s)



- ▶ Si la distance entre le parafoudre et le champ PV est supérieur à 10m **et si** la tension de protection du parafoudre (U_p) est supérieur à la moitié de la tension de tenue au choc du module (U_w module) **alors** il est nécessaire d'ajouter un parafoudre près du champs

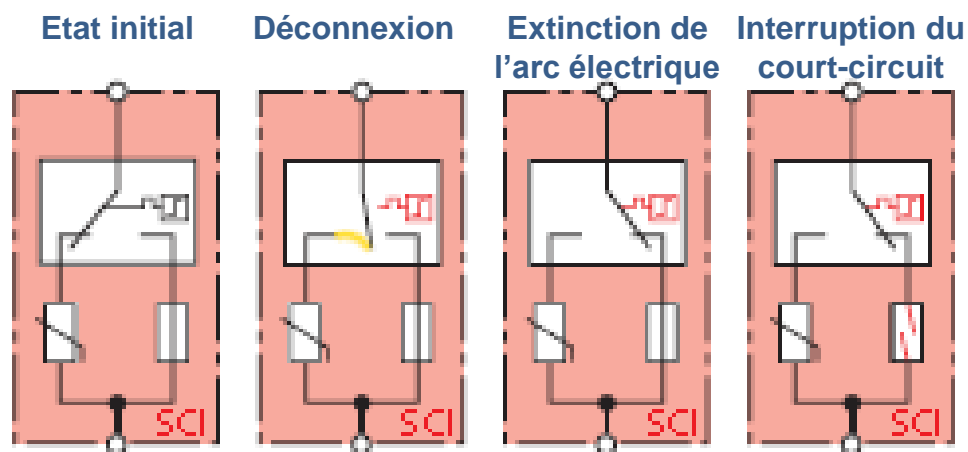


Si $U_p \leq \frac{1}{2} \times U_w$
Alors 2ème parafoudre non obligatoire

Fin de vie du parafoudre et Organe de coupure associé

- ▶ En fin de vie le parafoudre peut resté ouvert ou fermé et mettre le champ en court circuit.
 - ▶ Le phénomène existe en AC et DC mais l'extinction de l'arc pose un problème particulier en DC
 - ▶ La protection de découplage intégrée au parafoudre se généralise encore faut-il s'en assurer.
 - ▶ La protection de découplage intégrée est limitée à une valeur
 - En PV: I_{scwpv} doit être supérieur à I_{scmax} du générateur PV $I_{scgéné} = 1,25 \times I_{scstc} \times \text{nb de chaines en parallèles}$
 - En AC: un disjoncteur ou fusible (type Gg) en amont dont le calibre I_n est inférieur à la valeur spécifiée.

Exemple et principe de déconnection du parafoudre PV en cas d'emballement thermique



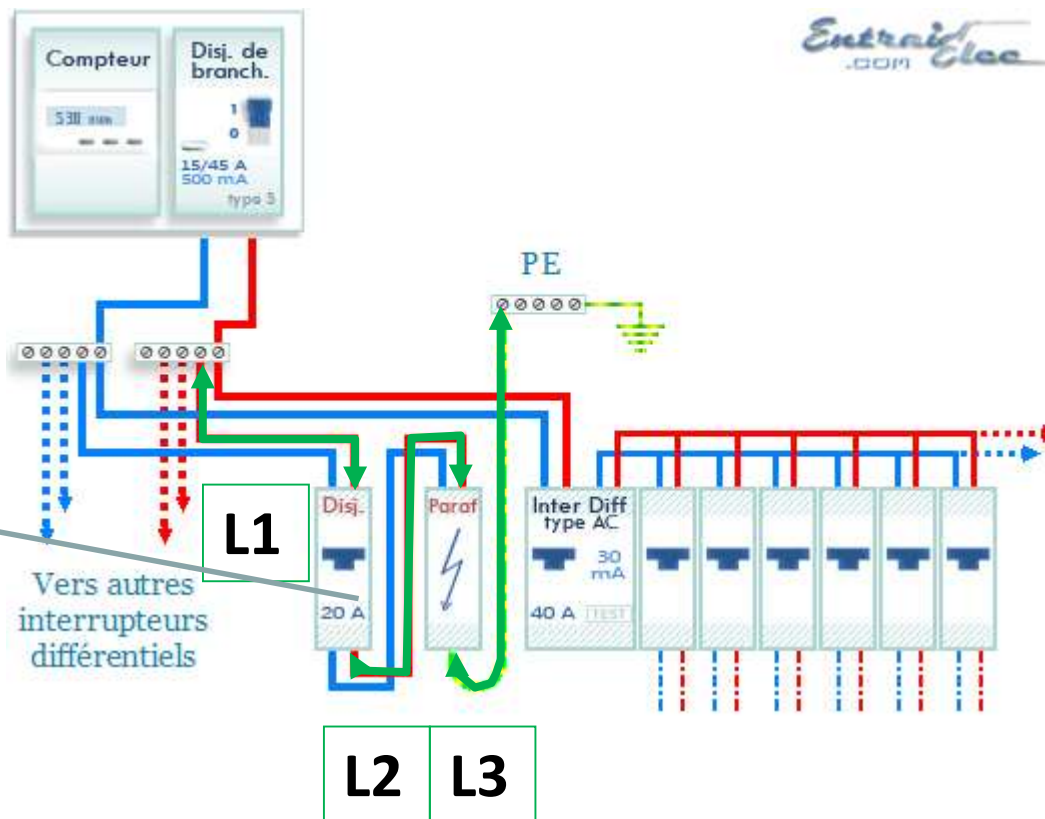
DEHN

Exemple de dommages:



DEHN

Installateur: Mise ne œuvre des parafoudres AC et DC



Contraintes de câblage :

- **$L1+L2+L3 < 50\text{cm}$**
- Section sortie \geq section à protéger
- Section de sortie $\geq 4\text{mm}^2$
- Réduire les boucles de câblage

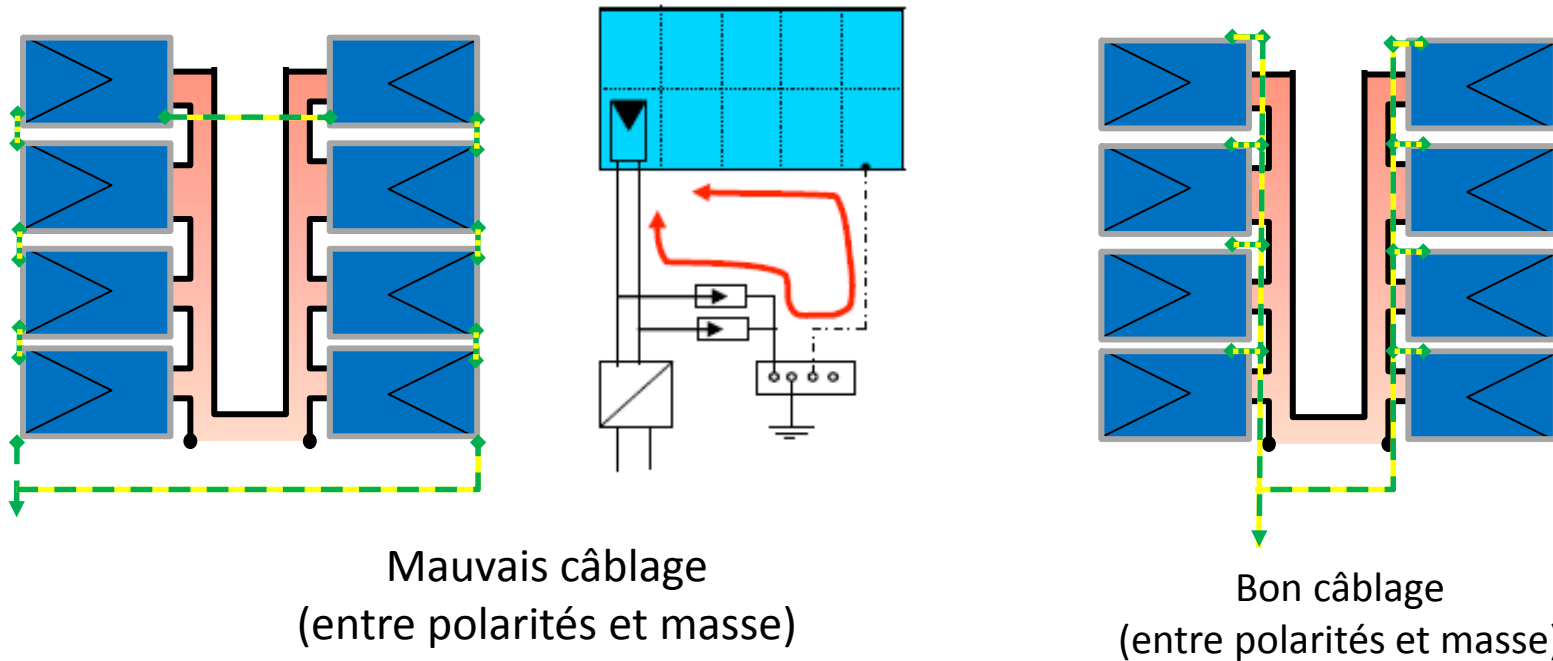
La protection des parafoudres à une portée limitée.
Ils se mettent à proximité de l'onduleur en priorité.
Au delà de 10 m la protection des autres équipements n'est plus assurée.
Il est possible de d'ajouter des parafoudres pour une protection optimale.



Liaison Equipotentielle de Protection (LEP)

Installateur: Liaison équipotentielle

- ▶ En cas de surtension, un défaut d'isolement peut mettre une partie de l'installation au potentiel du champ PV.
- ▶ Pour éviter un risque d'électrisation de l'intervenant il est nécessaire d'assurer une liaison équipotentielle des masses.



Attention également à ne pas créer de boucle d'induction !

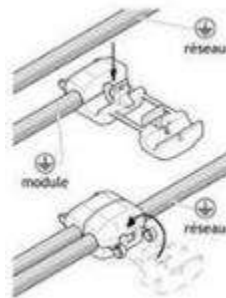
Installateur: Liaison équipotentielle

3. Liaison équipotentielle des masses métalliques pour minimiser les effets dus aux surtensions induites par la foudre.

- ▶ Cadre des modules, onduleur, structure et chemin de câbles.
- ▶ Section 6mm² minimum (vert jaune).
- ▶ Raccordement sur la borne principale de terre.
- ▶ Suivre la préconisation fabricant.
- ▶ Attention aux **couples électrolytiques**!
- ▶ Attention aux **boucles d'inductions**!



Griffe pour la liaison entre cadre et rail (Mobasolar)

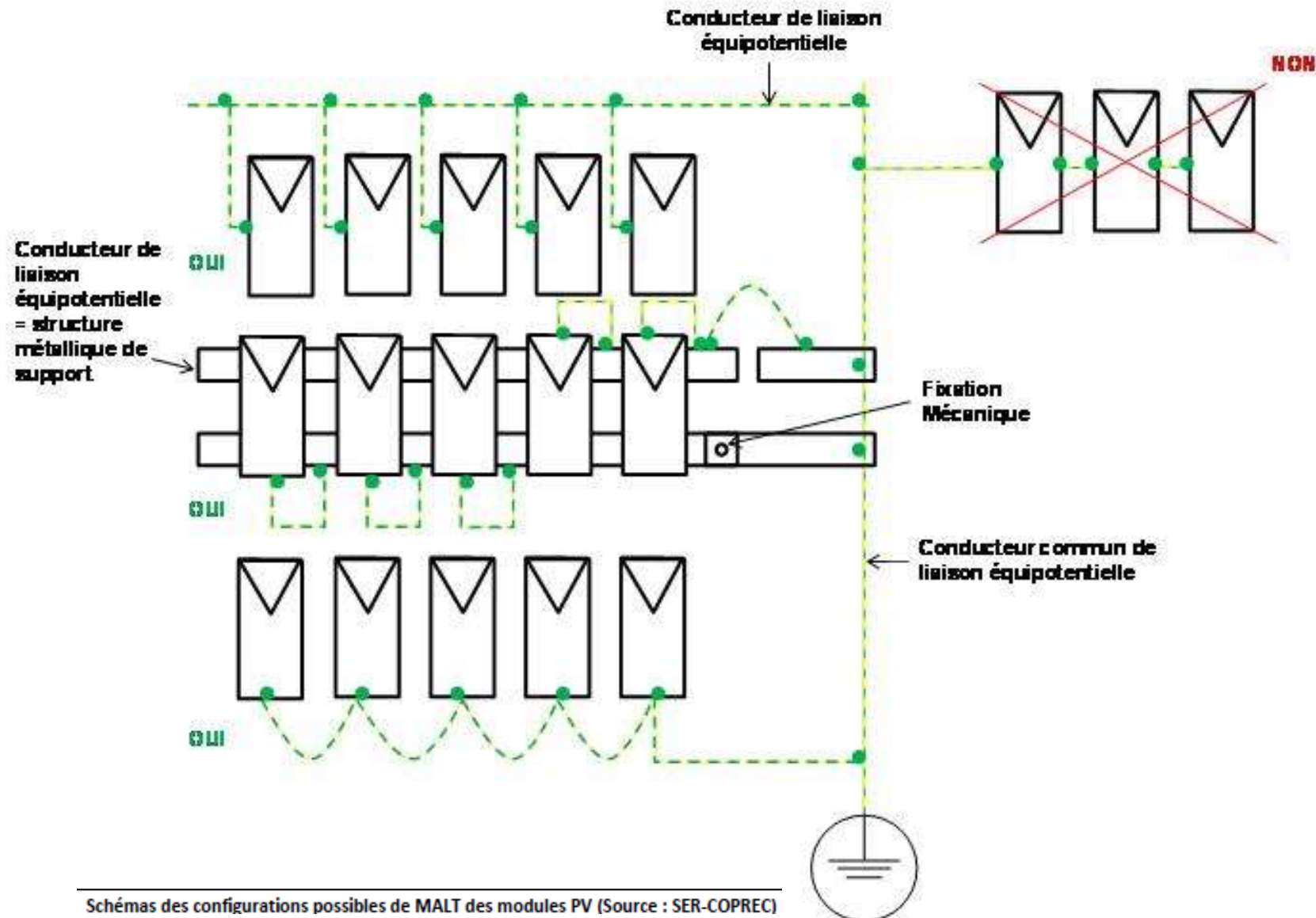


Rondelle bimétal



Griffe pour la liaison entre LEP et cadre (Rayvolt)

Liaisons équipotentielle



Attention aux couples électrolytiques

Tableau des couples galvaniques entre quelques métaux et alliages (en millivolts)

Electrolyte : eau + 2% de sel marin

 Le métal B est attaqué

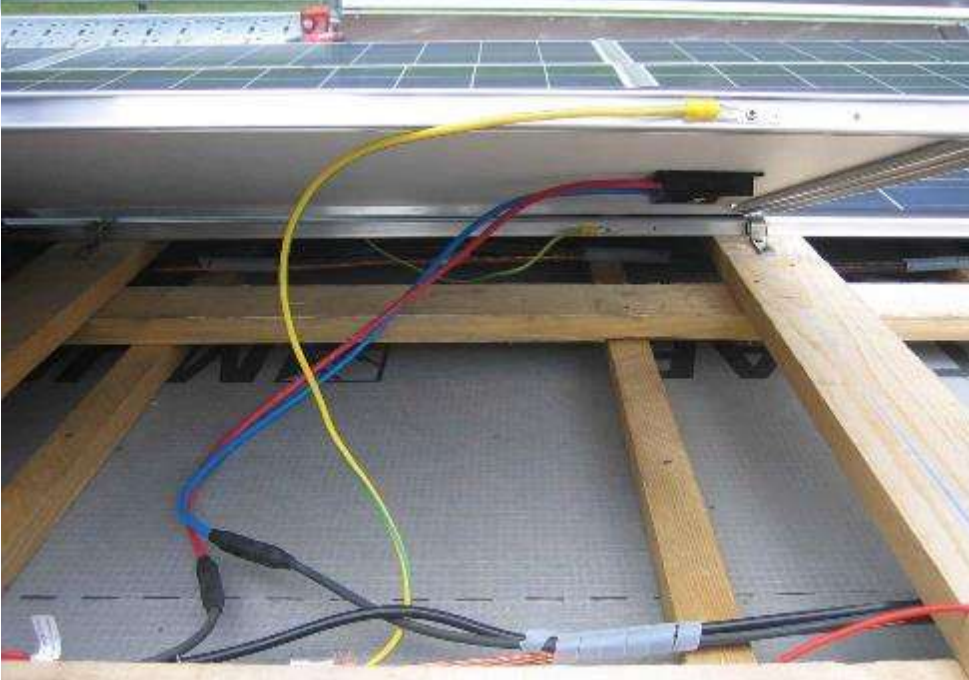
 Contact pratiquement indifférent

 Le métal A est attaqué

Métal A :	Platine	Or	Inox passivé	Argent	Mercure	Nickel	Arcap	Cuivre	Bronze d'alû	Laiton	Bronze	Etain	Plomb	Duralumin	Acier doux	Alpax H	Alu 99,5%	Acier dur	Duralinox	Cadmium	Fer pur	Almasilium	Chrome	Sn75-Zn25
Platine	0	130	250	350	350	430	450	570	600	650	770	800	840	940	1000	1065	1090	1095	1100	1100	1105	1105	1200	1350
Or	130	0	110	220	220	300	320	440	470	520	640	670	710	810	870	935	960	965	970	970	975	975	1070	1230
Inox passivé	250	110	0	100	110	180	200	320	350	400	520	550	590	690	750	815	840	845	850	850	855	855	950	1100
Argent	350	220	100	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010
Mercure	350	220	110	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010
Nickel	430	300	180	80	80	0	20	140	170	220	340	370	410	510	570	635	660	665	670	670	675	675	770	930
Arcap	450	320	200	100	100	20	0	120	150	200	320	350	380	490	550	615	640	645	650	650	655	655	750	910
Cuivre	570	440	320	220	220	140	120	0	30	80	200	230	270	370	430	495	520	525	530	530	535	535	630	790
Bronze d'alû	600	470	350	250	250	170	150	30	0	50	170	200	240	340	400	465	490	495	500	500	505	505	600	760
Laiton	650	520	400	300	300	220	200	80	50	0	120	150	190	290	350	415	440	445	450	450	455	455	550	710
Bronze	770	640	520	420	420	340	320	200	170	120	0	30	70	170	230	295	320	325	330	330	335	335	430	590
Etain	800	670	550	450	450	370	350	230	200	150	30	0	40	140	200	265	290	295	300	300	305	305	400	560
Plomb	840	710	590	490	490	410	380	270	240	190	70	40	0	100	160	225	250	255	260	200	265	265	360	520
Duralumin	940	810	690	590	590	510	490	370	340	290	170	140	100	0	60	125	150	155	160	160	165	165	260	420
Acier doux	1000	870	750	650	650	570	550	430	400	350	230	200	160	60	0	65	90	95	100	110	105	105	200	360
Alpax H	1065	935	815	715	715	635	615	495	465	415	295	265	225	125	65	0	25	30	35	35	40	40	135	295
Alu 99,5%	1090	960	840	740	740	660	640	520	490	440	320	290	250	150	90	25	0	5	10	10	15	15	110	270
Acier dur	1095	965	845	745	745	665	645	525	495	445	325	295	255	155	95	30	5	0	5	5	10	10	105	265
Duralinox	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	260	160	100	35	10	5	0	0	5	5	100	260
Cadmium	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	200	160	110	35	10	5	0	0	5	5	100	260
Fer pur	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	0	0	95	255
Almasilium	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	0	0	95	255
Chrome	1200	1070	950	850	850	770	750	630	600	550	430	400	360	260	200	135	110	105	100	100	95	95	0	25
Sn75-Zn25	1350	1230	1100	1010	1010	930	910	790	760	710	590	560	520	420	360	295	270	265	260	260	255	255	25	0
Zinc	1400	1270	1150	1050	1050	970	950	830	800	750	630	600	560	530	400	335	310	305	300	300	295	295	200	40
Magnésium	1950	1820	1700	1600	1600	1520	1500	1380	1350	1300	1180	1150	1100	1010	950	885	860	855	850	850	845	845	750	590

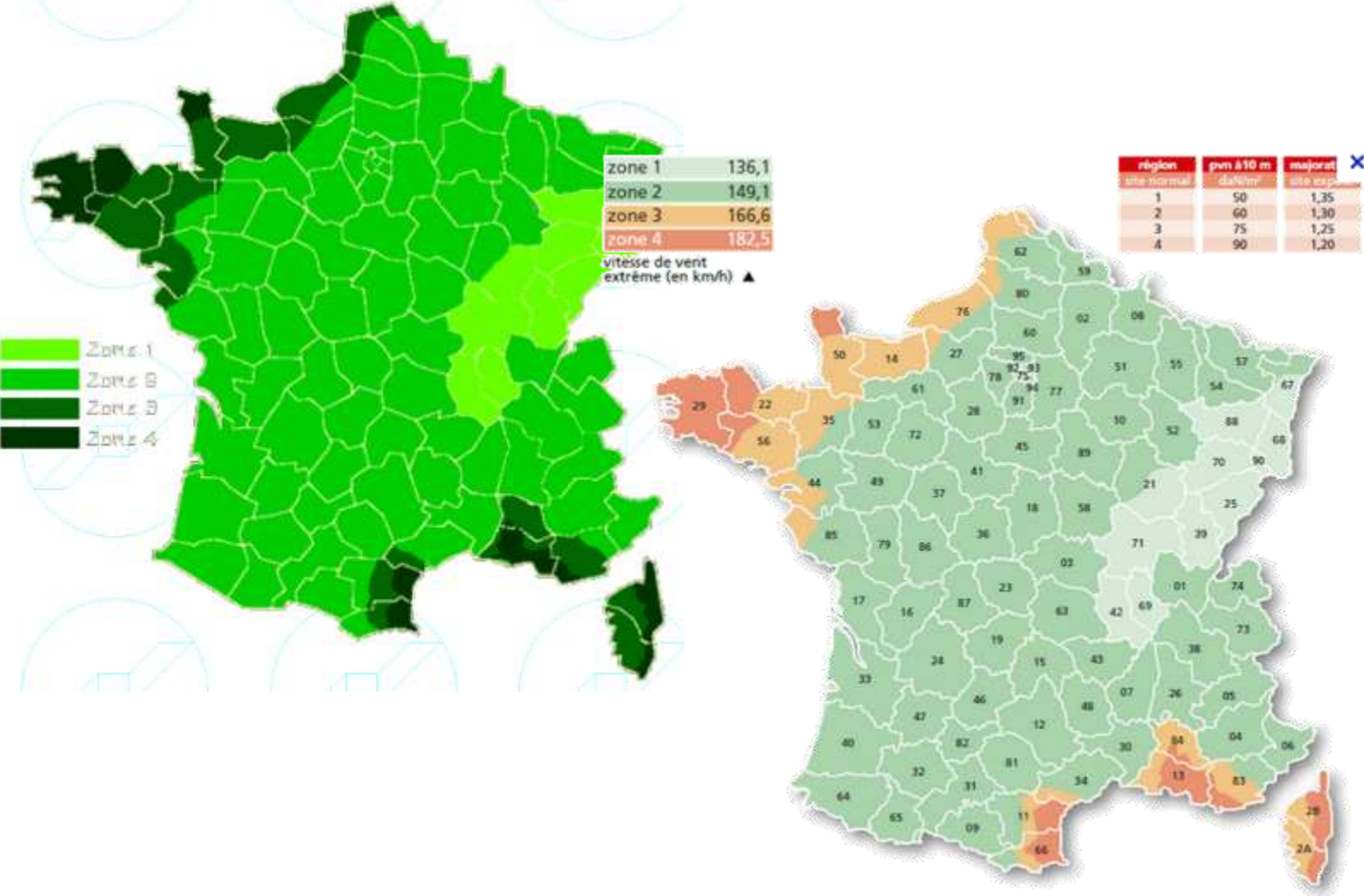
(Source : SER-COPREC)

Photos MALT et traitement boucle de champ



Eurocode 1: carte des vents

Carte des zones de vent NV65 2000 (obsolète)



Pressions de vent

Règles NV65 : pressions et vitesses de vent normal ou extrême					
pressions de référence à 10m au dessus du niveau du sol					
	site	pression normale	pression extrême	Vitesse normale	Vitesse extrême
		Pa	Pa	km/h	km/h
zone1	protégé	400,0	700,0	92,0	121,7
	normal	500,0	875,0	102,9	136,1
	exposé	675,0	1181,3	119,5	158,1
zone2	protégé	480,0	840,0	100,8	133,3
	normal	600,0	1050,0	112,7	149,1
	exposé	780,0	1365,0	128,5	169,9
zone3	protégé	600,0	1050,0	112,7	149,1
	normal	750,0	1312,5	126,0	166,6
	exposé	937,5	1640,6	140,8	186,3
zone4	protégé	720,0	1260,0	123,4	163,3
	normal	900,0	1575,0	138,0	182,6
	exposé	1080,0	1890,0	151,2	200,0
zone5	protégé	1200,0	2100,0	159,3	210,8
	normal	1200,0	2100,0	159,3	210,8
	exposé	1440,0	2520,0	174,6	230,9
coefficient extrême	1,75				
densité air kg/m3	1,225				

Situation protégée, normale, exposée

A ces zones, il convient de superposer les effets résultants de la situation locale.



Situation protégée :

Fond de cuvette entouré de collines sur tout son pourtour et protégé ainsi pour toutes les directions du vent.

Terrain bordé de collines sur une partie de son pourtour correspondant à la direction des vents les plus violents et protégé pour cette direction de vent.

Situation normale :

Plaine ou plateau pouvant présenter des dénivellations peu importantes, étendues ou non (vallonnements, ondulations).



Situation exposée :

Au voisinage de la mer : littoral (jusqu'à 5 km), sommet des falaises, îles ou presqu'îles étroites, estuaires ou baies encaissées et profondément découpées dans les terres.
A l'intérieur du pays : vallées étroites où le vent s'engouffre, montagnes isolées et élevées et certains cols.



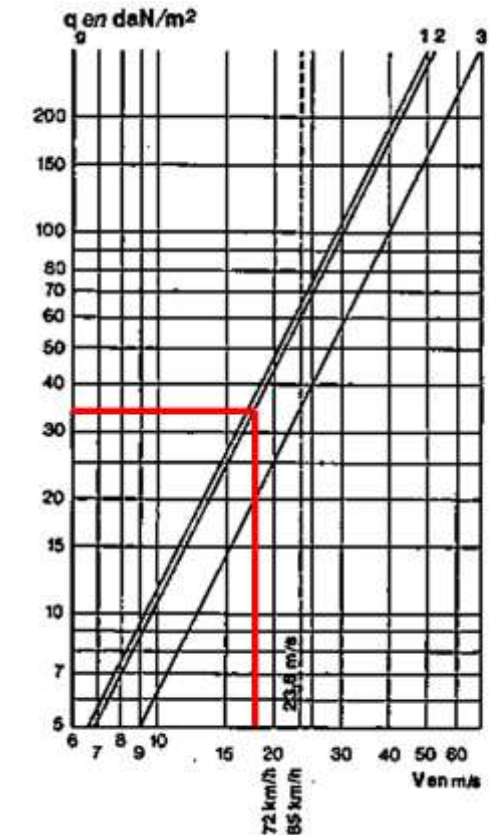
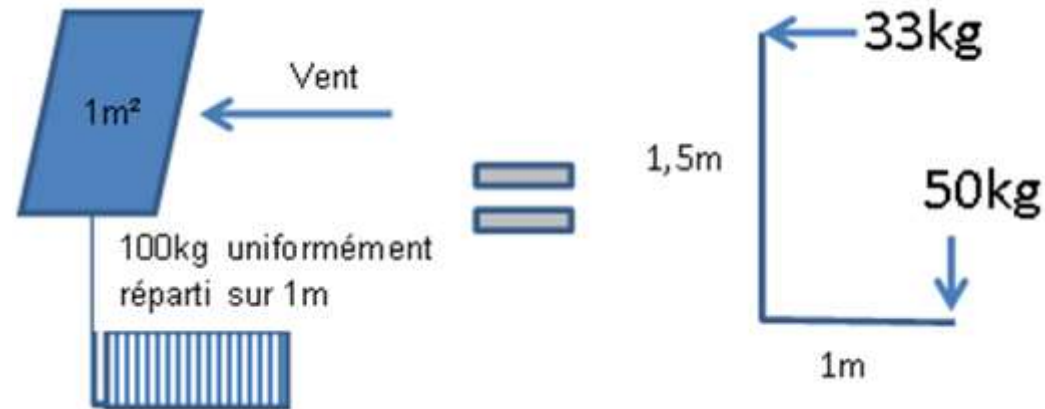
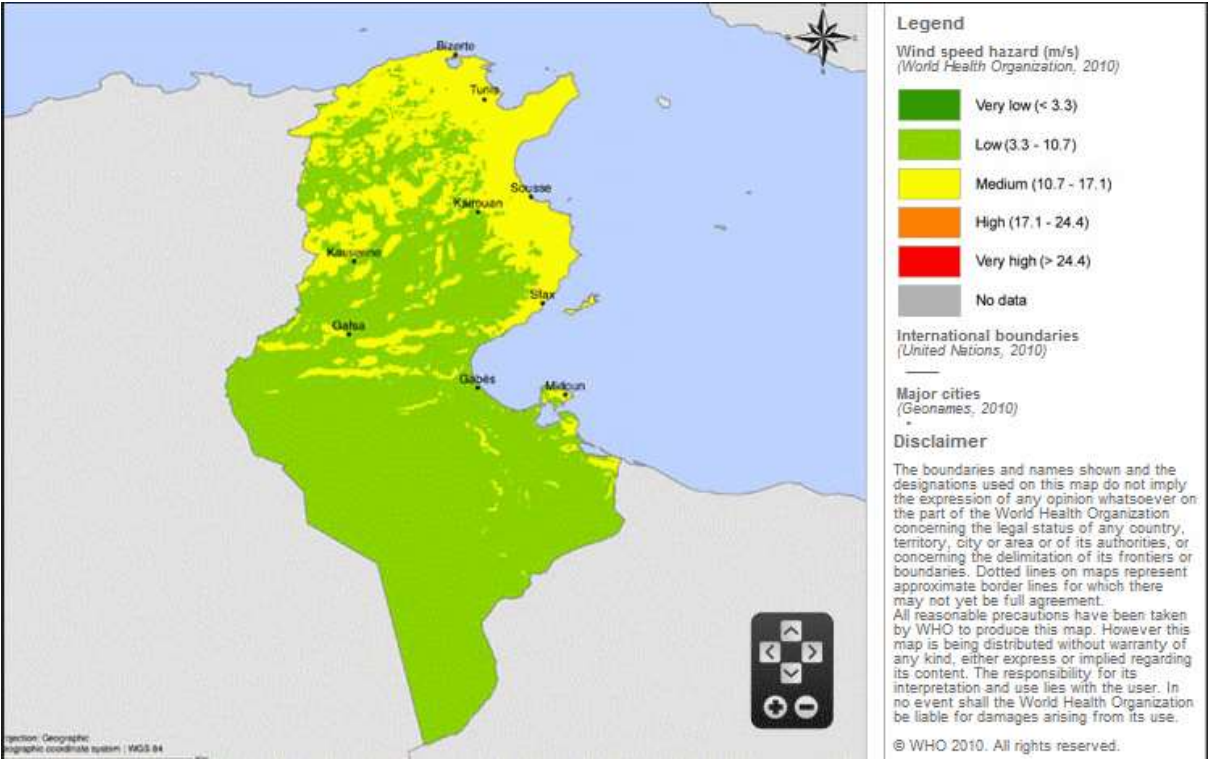
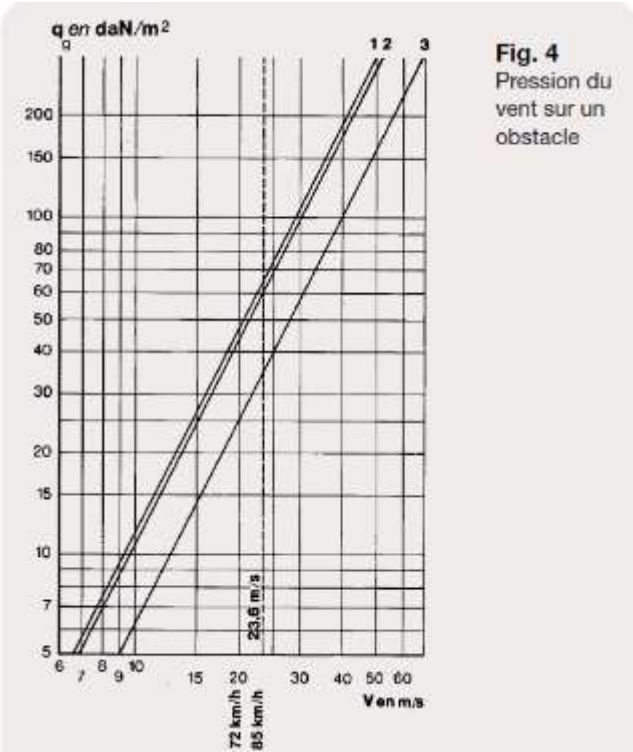


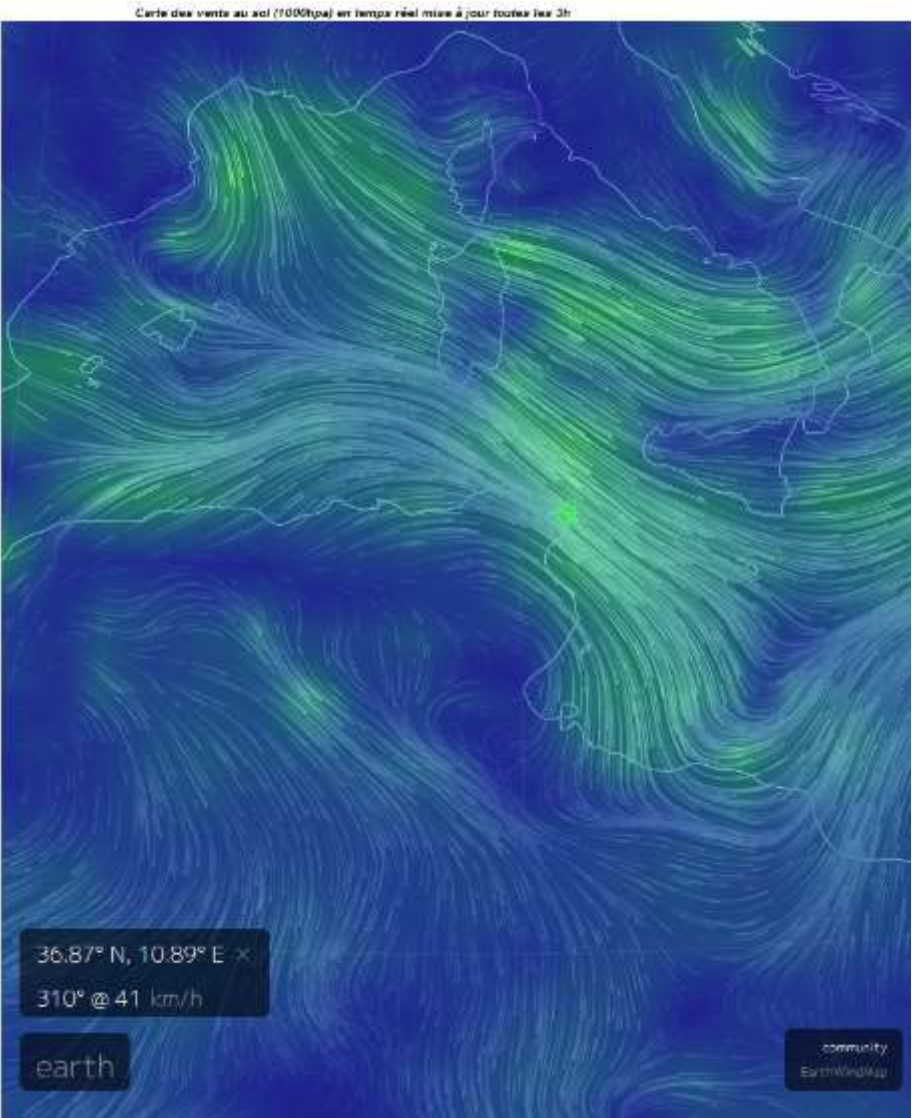
Fig. 4
Pression du
vent sur un
obstacle

L'étude des efforts mécaniques appliqués par le vent croisé avec l'abaque ci-dessous montre que la structure a un moment de basculement pour un vent de 18 m/s soit 65 km/h



Légende	Vents moyens		Vents Extrêmes (≈200%)		Lestage indicatif par m² de panneau (vents max)	
	Min	Max	Min	Max	Bord	Centre
	3,3mss 11,9 km/h	10,7m/s 38,5 km/h	6,5 m/s 24 km/h	21,5 m/s 77 km/h	45 kg	15 kg
	10,7m/s 38,5km/h	17,1m/s 61,6km/h	21,5 m/s 77 km/h	32 m/s 123 km/h	100 kg	60 kg





<http://earth.nullschool.net>

A défaut de connaître les vents extrêmes de la région et les pressions exercées, on peut considérer qu'ils sont 1,4fois supérieurs aux vents moyens et les forces exercées sont doublées.

A titre d'exemple voici les poids préconisés pour une console type Ubbink pour 1 module:

Lestage (kg) de la Console selon DIN1055-4:2005-03 et vitesse de référence du vent de 22,5 m/s (80km/h), pour un régime des vents à l'intérieur des terres en Allemagne : zone de vent I et catégorie de zone suburbaine III.



	A	B	C	D
ConSole 2.1	135	73	44	10
ConSole 2.2	144	67	39	10
ConSole 2.3	125	86	48	9
ConSole 4.1	160	80	45	8,5
ConSole 4.2	120	105	55	8
ConSole 6.2	168	105	55	8

Hauteur de bâtiment jusqu'à 8 mètres 12 mètres 16 mètres						
Position dans le champ						
des modules :	centre	bord	centre	bord	centre	bord
ConSole 2.1	50	78	59	91	66	101
ConSole 2.2	46	73	55	86	61	95
ConSole 2.3	51	82	60	96	68	106
ConSole 4.1	62	99	73	115	82	128
ConSole 4.2	58	94	68	110	77	122
ConSole 6.2	83	134	98	156	110	173

* = Lorsque les vitesses de référence des vents sont plus élevées, augmentez le lestage. Par exemple, si la vitesse de référence du vent atteint 26 m/s, prévoyez 50 % de lestage en plus.

Valeurs de lest en kg par mètre carré normal au vent	137	221	132	272	182	286
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Procédures d'intervention

- Prendre connaissance du dossier technique et de suivi de l'installation
- Observer les valeurs et état de fonctionnement
- Intervenir en sécurité face au risque électrique
- Intervenir en sécurité face au risque de travaux en hauteur

- ▶ Quelles sont les informations fondamentales que vous aimeriez trouver sur site?
 - ▶ les fiches techniques modules, onduleur
 - ▶ le schéma électrique de l'installation (unifilaire)
 - ▶ le plan de câblage et d'implantation des modules à l'onduleur (calepinage)
 - ▶ une fiche de suivi des différents interventions (mise en service, SAV, message d'erreur, nettoyage, dépannage)
 - ▶ une fiche de suivi de production (date, onduleur n° , production compteur, index compteur STEG (index 0 et 0-) avec mode opératoire et présentation d'un monitoring type BDPV.
 - ▶ Contact installateur
 - ▶ la procédure d'intervention
 - ▶ Étude dimensionnement
 - ▶ Référence produit auxiliaires (parafoudre, interrupteur sectionneur, câble, ...)
- ▶ Pour quoi faire?
 - ▶ Mieux connaître l'installation
 - ▶ Savoir interpréter les mesures
 - ▶ Vérifier le dimensionnement → **Fiche « control et découverte de l'installation »**

Fiche contrôle et de découverte de l'installation

Données Générales Installation		
Pc		Puissance PV sur l'onduleur
Nc		Nombre de chaîne
Nm		Nb modules / chaîne

si >2 Protection Surintensité !

Partie à compléter

Données modules		
Pc		
Uoc stc		
Umpp stc		
Impp stc		
Isc stc		
Irm		retour module = contre courant (Imax serie fuse)
U max isolement		

Condition à vérifier

Uocmax du champ (cf données champ)	
------------------------------------	--

Données champ			Données Onduleur	
Pc			<	Pc max
Uoc				
Uoc max		≈1,15 Uoc	<	U max ond
Impp			<	Imppt
Umpp				
Umpp noct		≈0,9 Umpp	~	Umppt nom
Umpp max		≈1,16 Umpp	<	Umppt max
Umpp min (75° C)		≈Umpp x 0,85	>	Umppt min

Chute de tension				
L	longueur câble			
S	Section câble			
Rc	résistance constructeur	0,023.L/S		
ΔU	%chute de U	Rc . Impp/Umpp	<	3%

protection SURTENSION		
Indice de foudroiment du site	Ng<25	Ng>25
Parafoudre	Oui	Non

Protection SURINTENSITEE				
A partir de 3 branches				
Ncmax en // ≤ 1+ (Irm/Iscstc)		Nc < Ncmax	=	Pas Fusible
		Nc > Ncmax	=	Fusible
In	calibre Fusible		≤	Irm
			≥	1,25 Isc stc

- ▶ Position des disjoncteurs
- ▶ Message d'erreur
- ▶ Puissance maximum enregistrée
- ▶ Voyant parafoudre
- ▶ Courant homogène sur chaque string ou MPPTTracker
- ▶ Tension de fonctionnement conforme à celle attendue
- ▶ Puissance délivrée cohérente avec l'ensoleillement estimé (indicatif sans sonde d'irradiation)
- ▶ Recherche de point chaud (Caméra Infrarouge)

} Local Onduleur

} Local Onduleur et toiture

- ▶ Test du différentiel et arrêt d'urgence → arrêt instantané de l'onduleur
- ▶ Vérification mécanique des connections (avec EPI et outils isolés)
- ▶ Déconnection des connecteurs et mesures individuelles des tensions des branches avec ouillage IP2X → conformité avec les valeurs obtenues
- ▶ Control visuel des câbles, coffrets, fixations, LEP, ombrage, encrassement des modules et ventilation onduleur
- ▶ Mesure tension à vide*, température module*, fusible
- ▶ Réflexion boucle d'induction, lestage, contreventement,
- ▶ Les mesures d'intensité sans sonde d'irradiation sont d'un intérêt limité et risquées pour l'intervenant et l'installation. → Mesure du courant de court circuit à proscrire
- ▶ Ne pas ouvrir de connecteur en charge !

Local Onduleur et toiture

- La tension à vide varie en fonction de la température des cellules.
- Cette variation est indiquée sur les fiche techniques du fabricant.
- En absence d'information prendre $-0,3\%U_{oc}$

Exemple: 10 modules, U_{oc} 40V, $T_c=55$

$$\rightarrow U_{oc50^\circ} = 400(1-0,003*30) = 364V$$

Intervention: Mesures générales de sécurité pour travaux en hauteur

- ▶ Protection collective en priorité
 - ▶ Formation des intervenant au travaux en hauteur et au montage d'échafaudage



- ▶ Si les protections collectives ne sont pas possibles: obligation d'utiliser des équipements de protection individuelle (E.P.I.)
 - ▶ Formation a travaux en hauteur et à l'utilisation de corde ,harnais de sécurité, longe, casque



Procédure d'intervention

- ▶ **On coupe l'AC en premier** pour éviter les arcs électriques!
- ▶ Et à la mise en service c'est l'inverse !

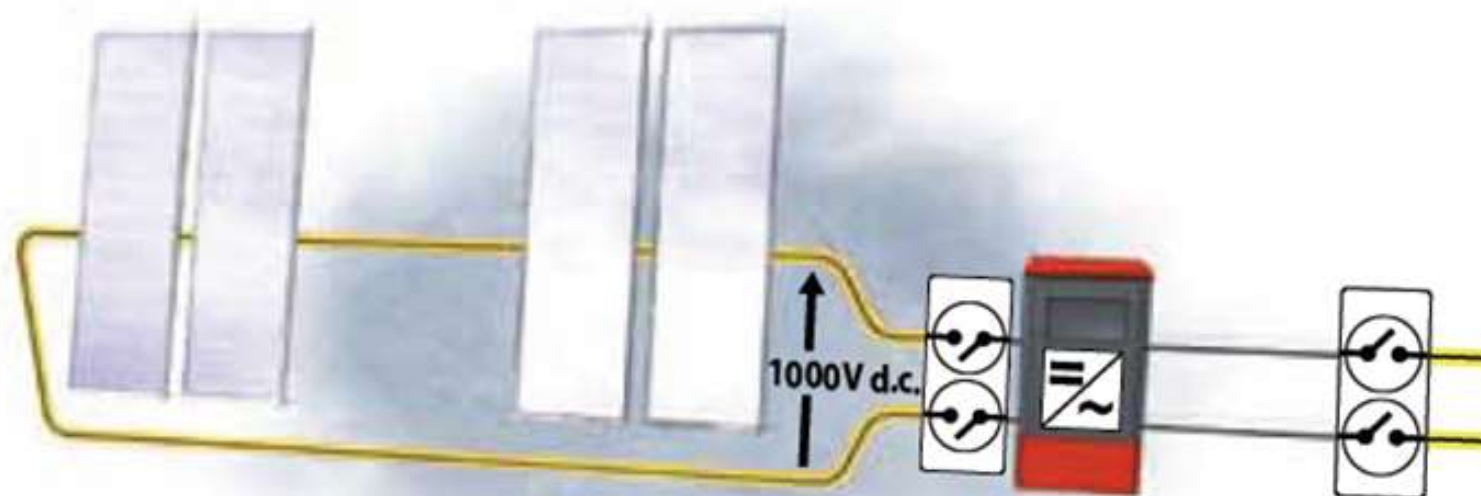


Fig. 14c : Fonctionnement de l'installation après coupure d.c.
en amont de l'onduleur et coupure du réseau alternatif

Attention aux 2 sources de tension



- ▶ Conformément à l'article 17 du Guide UTE C15-712 les opérations de maintenance visent à maintenir ou rétablir l'état de fonctionnement pour lequel l'installation a été conçue avec une priorité sur la protection des biens et des personnes.
 - ▶ **Maintenance Conditionnelle** basée sur une surveillance des paramètres de l'installation
 - ▶ **Maintenance Prévisionnelle** basée sur l'expérience (maintenance conditionnelle)
 - ▶ **Maintenance Systématique**, exécutée à intervalle préétabli

- ▶ Hormis les locaux d'habitations individuelles, les trois niveaux de maintenance doivent être envisagés

- ▶ Prendre en compte les activités connexes (activités, services, environnement...)

17.3.2 Point relatif à la sécurité des personnes et des biens

Ces points sont les suivants :

- contrôle visuel de l'ensemble des parties accessibles de l'installation ;
- recherche des points chauds éventuels sans démontage ;
- vérification de l'absence de corrosion ;
- contrôle visuel de l'état des câbles ;
- contrôle de l'état des boîtes de jonction ;
- contrôle visuel des connexions ;
- contrôle visuel des caractéristiques techniques de l'appareillage (fusibles, disjoncteurs parafoudres,...) ;
- test des dispositifs différentiels à courant résiduel (DDR) ;
- vérification des liaisons équipotentielle ;
- test de la fonction coupure d'urgence ;
- test de l'éventuel dispositif de coupure pour intervention des services de secours ;
- contrôle de la présence et du bon état de l'identification des composants conformément au paragraphe 15.1 ;
- contrôle de la présence et du bon état de l'étiquetage conformément aux paragraphes 15.2 et 15.3 ;
- contrôle de la disponibilité des dossiers de plans de l'installation PV à jour.

17.3.3 Points relatifs au bon fonctionnement

Ces points sont les suivants :

- nettoyage des modules photovoltaïques ;
- vérification de l'onduleur ;
- vérification du maintien des conditions initiales de l'environnement des modules PV ;
- vérification des mises à la terre fonctionnelles ;
- vérification du maintien des conditions d'exploitation des locaux et du maintien de leur destination initiale ;
- dépoussiérage.

Et bien sûr chaque maintenance est accompagnée d'un rapport d'intervention à minima noté dans le dossier technique et de suivi !

Travaux en hauteur

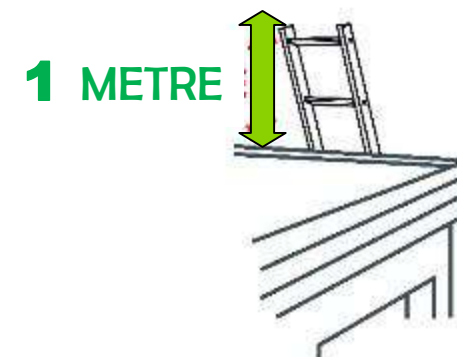
Dispositions de sécurité pour l'utilisation des échelles

Les échelles doivent être utilisées de façon à permettre aux travailleurs de disposer d'une prise et d'un appui sûrs

Le port de charge doit rester exceptionnel et limité à des charges légères et peu encombrantes ; sans empêcher le maintien d'une prise sûre

UTILISATION DÉROGATOIRE

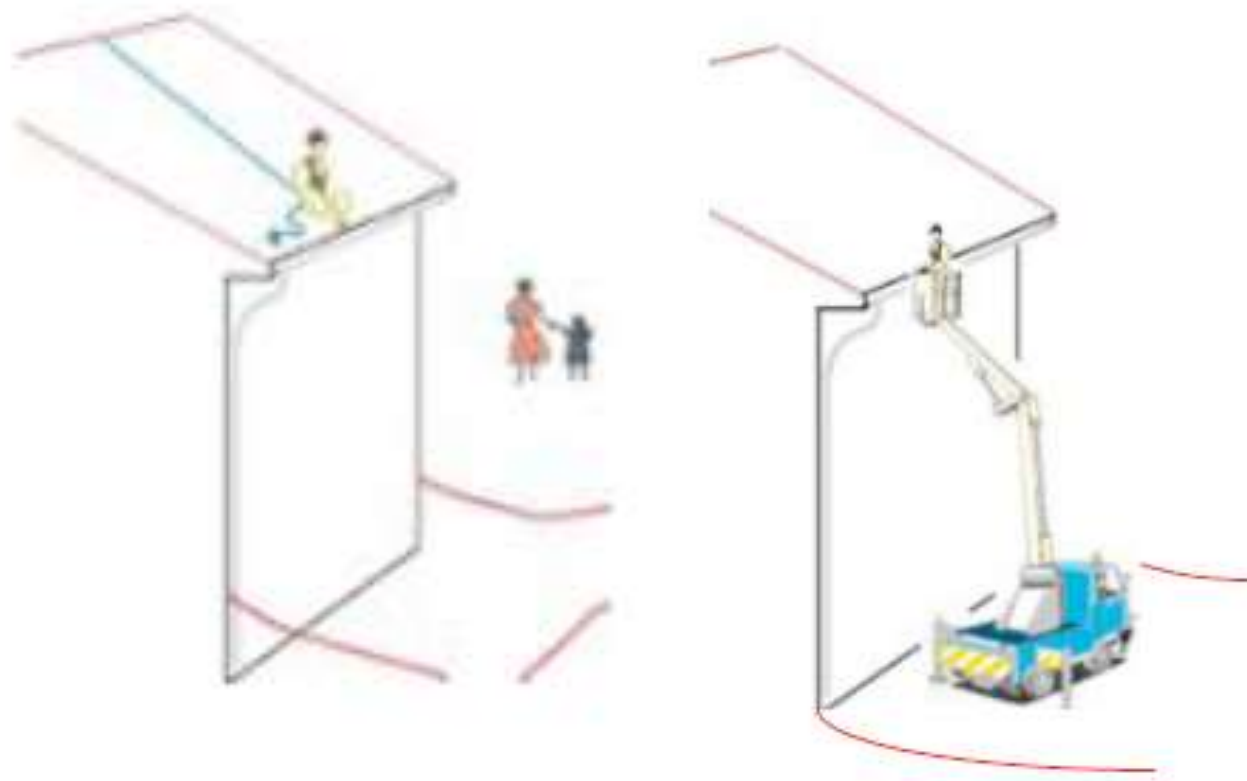
- En cas d'impossibilité technique de recourir à un équipement de protection collective
- Si après évaluation des risques, le risque est faible et les travaux de courte durée et non répétitifs.



Dispositions de sécurité pour l'installation et la maintenance d'un équipement photovoltaïque

5. Précautions contre les chutes d'objet :

Délimitation des zones de travaux (banderole de balisage de zones dangereuses vis-à-vis des risques de chutes d'objets)



FICHE PRATIQUE DE SÉCURITÉ

ED 137



Le développement des énergies renouvelables connaît un succès sans précédent et se traduit par l'installation de multiples panneaux solaires en toiture. Les chantiers de pose de panneaux solaires ainsi que l'entretien ultérieur de ces installations nécessitent la prise en compte de mesures de prévention pragmatiques et rigoureuses, et ce dès leur conception. Les objectifs en terme de développement durable ne sauraient être atteints s'ils sont accompagnés d'accidents graves liés à la mise en œuvre et à l'entretien de ces panneaux solaires.

Pose et maintenance de panneaux
solaires thermiques
et photovoltaïques

Evaluation des risques professionnels. Questions-réponses sur le document unique (document pdf)



www.travail-emp

Évaluation des risques
professionnels
Document unique à jour

Sur les risques électriques des installations PV

- ▶ Conception et réalisation fiable et pérenne
- ▶ Dimensionnement « au pire » et non pas « en moyenne ».
 - ▶ **Structure et lestage**
 - ▶ **Électrique: 1,15 Uoc, 1,25 Isc**
- ▶ Utilisation de matériel spécifique
- ▶ Mise en œuvre soignée
 - ▶ **Connexion**
 - ▶ **Isolation**
- ▶ Contrôle du maintien de l'état initial du matériel et de son environnement
- ▶ Sécurité des accès toitures
- ▶ Information et sensibilisation de l'utilisateur



Merci de votre attention